



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ο ρόλος του Τεχνολόγου Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας στην εποχή της  
Τεχνητής Νοημοσύνης**

**Ραρρή Νικολέτα**

**Αριθμός Μητρώου:20005**

**ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ**

**Επιβλέπων καθηγητής:** Παπαβασιλείου Περικλής PhD, Επίκουρος Καθηγητής

Όνομα Μέλους : Οικονόμου Γεωργία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Όνομα Μέλους : Μπάκας Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2022**

## Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΓΕΩΡΓΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΠΑΚΑΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ραρρή Νικολέτα του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου (ΑΜ) 20005 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σύγχρονες Εφαρμογές στην Ιατρική Απεικόνιση» του Τομέα Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών, της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι :

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

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

Η Δηλούσα

Ραρρή Νικολέτα



# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## Περιεχόμενα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	4
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	6
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	7
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ .....	8
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	10
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΥ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ-ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ .....	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	11
ABSTRACT .....	12
<b>Κεφάλαιο 1:</b> Ιστορία και θεμελιώδεις αρχές της Τεχνητής Νοημοσύνης .....	13
1.1.1. Δεκαετίες 1950-1960: Η γέννηση της Τεχνητής Νοημοσύνης .....	13
1.1.2. Δεκαετία 1970: Ο πρώτος «χειμώνας» της ΤΝ .....	15
1.1.3. Δεκαετία 1980: Η άνθιση της ΤΝ και ο δεύτερος «χειμώνας» .....	17
1.1.4. Δεκαετίες 1990-2010: Θεωρία πιθανοτήτων, στατιστικές προσεγγίσεις, Μηχανική Μάθηση .....	18
1.1.5. 2010-παρόν: Μεγάλα Δεδομένα, Νευρωνικά Δίκτυα και Τεχνητή Νοημοσύνη .....	19
1.2.1. Μηχανική Μάθηση .....	22
1.2.2. Βαθιά Μάθηση .....	24
1.2.3. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα .....	25
1.2.4. Αναγνώριση προτύπων .....	27
1.2.5. Επεξεργασία φυσικής γλώσσας .....	28
1.2.6. Ασαφής Λογική .....	29
1.2.7. Ρομποτική .....	30
<b>Κεφάλαιο 2:</b> Η Τεχνητή Νοημοσύνη στην Υγεία .....	31
2.1. Διαχείριση Υπηρεσιών Υγείας .....	31
2.2. Προγνωστική Ιατρική .....	32
2.3. Εξατομικευμένη Ιατρική .....	33
2.4. Ευφυής λήψη αποφάσεων .....	34
<b>Κεφάλαιο 3:</b> Τεχνητή Νοημοσύνη και Ιατρική Απεικόνιση .....	35
3.1. Ταξινόμηση ιατρικών εικόνων .....	35
3.2. Ανίχνευση βλαβών-υποβοηθούμενη διάγνωση .....	37
3.3. Κατάτμηση εικόνων .....	39

3.4. Βελτιστοποίηση εικόνας .....	41
3.5. Αυτοματοποίηση της ροής εργασιών .....	42
3.6. Μείωση λαμβανόμενης δόσης .....	43
<b>Κεφάλαιο 4: Ηθικά ζητήματα και Τεχνητή Νοημοσύνη.....</b>	<b>44</b>
4.1. Διαχείριση προσωπικών δεδομένων .....	45
4.2. Νομοθεσία και Τεχνητή Νοημοσύνη .....	46
4.3. Σφάλματα συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης.....	49
4.4. Ανθρώπινος παράγοντας .....	50
<b>Κεφάλαιο 5: Ο ρόλος του Τεχνολόγου Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας .....</b>	<b>51</b>
5.1. Απαραίτητες και εξειδικευμένες γνώσεις .....	52
5.2. Ανάγκη για τροποποίηση των προγραμμάτων σπουδών.....	54
5.3. Συμμετοχή στη λήψη αποφάσεων.....	55
5.4. Συμμετοχή στην έρευνα.....	56
Λίστα Βιβλιογραφίας .....	57

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση των κυριότερων σταθμών στην εξέλιξη της ΤΝ (σελ. 13).
- Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση ενός expert system (σελ. 15).
- Εικόνα 3: Gartner AI Hype Cycle 2021 (σελ. 19).
- Εικόνα 4: Η ΤΝ και οι κυριότεροι κλάδοι της (σελ. 20).
- Εικόνα 5: Απόδοση της Βαθιάς Μάθησης σε συνάρτηση με τον όγκο δεδομένων (σελ. 23).
- Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική ενός συνελικτικού νευρωνικού δικτύου (σελ. 25).
- Εικόνα 7: Το ισοζύγιο συνεργασίας μεταξύ ανθρώπου και μηχανημάτων στην Υγεία (σελ. 30).
- Εικόνα 8: Τυπικό μοντέλο Μηχανικής Μάθησης για ταξινόμηση εικόνων στην ιατρική απεικόνιση (σελ. 34).
- Εικόνα 9: Το πρώτο μηχάνημα CAD εν έτη 1998, και δίπλα η τεράστια διαφορά απόδοσης μεταξύ των συμβατικών CAD και των νεότερων τα οποία βασίζονται σε DL (σελ. 36).
- Εικόνα 10. Κατάτμηση τραυματικών βλαβών εγκεφάλου σε πολλαπλές κλάσεις (σελ. 38).
- Εικόνα 11: Η αλυσίδα της ροής εργασιών σε ένα τμήμα ιατρικής απεικόνισης (σελ. 40).
- Εικόνα 12: Οι αρχές FUTURE-AI οι οποίες προτείνονται για ηθική, ασφαλή, και έμπιστη χρήση της ΤΝ στην ιατρική απεικόνιση (σελ. 44).

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ταξινόμηση των SaMD από το IMDRF (σελ. 44).

## ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

AEC: Automatic Exposure Control

AI-CAD: Artificial Intelligence-CAD

ANN: Artificial Neural Network

CAD: Computer-Aided Detection

CDS: Clinical Decision Support

CE: Conformité Européenne

CNN: Convolutional Neural Network

CPD: Continuous Professional Development

CS: Compressed Sensing

CT: Computed Tomography

DL: Deep Learning

EFRS: European Federation of Radiographic Societies

GDPR: General Data Protection Regulation

GPU: Graphic Processing Unit

HGP: Human Genome Project

ICD: International Classification of Diseases

IFR: International Federation of Robots

IMDRF: International Medical Device Regulators Forum



IoT: Internet of Things

IR: Image Reconstruction

ISO: International Organization of Standardization

LSTM: Long Short-Term Memory

MIT: Massachusetts Institute of Technology

ML: Machine Learning

MRI: Magnetic Resonance Imaging

NHS: National Health Service

NLP: Natural Language Processing

PACS: Picture Archiving and Communication System

PC: Personal Computer

PET: Positron Emission Tomography

RELU: Rectified Linear Unit

RNN: Recurrent Neural Network

SaMD: Software as Medical Device

SVM: Support Vector Machine

TAA: Τεχνολόγος Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας

UKCA: United Kingdom Conformity Assessed

TN: Τεχνητή Νοημοσύνη

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Περικλή Παπαβασιλείου για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες επίσης στον εξαιρετικό συνάδελφο κ. Χαράλαμπο Μπούγια για την πολύτιμη βοήθεια του και τις γνώσεις του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο κ. Νικόλαο Στογιάννο για την στήριξη του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου.

## Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΥ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ-ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έλευση της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) και η καθιέρωση της στον χώρο της Ιατρικής απεικόνισης δε θα μπορούσε να αφήσει τον Τεχνολόγο Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας (ΤΑΑ) αμέτοχο. Πληθώρα εφαρμογών ΤΝ λειτουργούν ήδη σε πολλά τμήματα απεικόνισης, βελτιώνοντας τόσο την ροή εργασιών, όσο και την ποιότητα των εξετάσεων και την ασφάλεια των ασθενών. Σήμερα, στην εποχή των μεγάλων δεδομένων και της ραγδαίας εξέλιξης στην υπολογιστική ισχύ και γενικότερα στην επιστήμη των υπολογιστών, τα τμήματα Ιατρικής απεικόνισης διακινούν τεράστιους όγκους δεδομένων και ο ΤΑΑ θα πρέπει να είναι ο θεματοφύλακας της διαδικασίας αυτής, εξασφαλίζοντας την ορθή και ηθική πρακτική και την ομαλή ροή εργασιών στο τμήμα του. Ωστόσο, η νέα αυτή ψηφιακή εποχή δημιουργεί επίσης στον ΤΑΑ την επιτακτική ανάγκη για περαιτέρω εκπαίδευση, ειδικά στους κρίσιμο τομέα της επιστήμης των υπολογιστών. Τα σημερινά προγράμματα σπουδών επιβάλλεται να εκσυγχρονιστούν, ενσωματώνοντας τις απαραίτητες γνώσεις ΤΝ τις οποίες θα πρέπει κάθε ΤΑΑ να αποκομίσει. Κρίνεται αναγκαίο για τον αυριανό ΤΑΑ να μπορεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα να διαχειριστεί και να ελέγξει την λειτουργία και απόδοση των αλγορίθμων ΤΝ οι οποίοι θα λειτουργούν στο τμήμα του, και να δρα πάντοτε προς όφελος των ασθενών. Άλλωστε, ο ΤΑΑ θα μένει πάντοτε ο μόνος συνδετικός κρίκος ανάμεσα στην τεχνολογία και στον ασθενή, και η ανθρώπινη επαφή δεν πρόκειται να αντικατασταθεί ποτέ. Είναι χρέος του ΤΑΑ να μπορέσει να χρησιμοποιήσει την ΤΝ με σκοπό την επίτευξη υψηλού επιπέδου υπηρεσίες υγείας, με γνώμονα την ασφάλεια αλλά και την ανθρωποκεντρική φροντίδα του ασθενούς.

Λέξεις-κλειδιά: Τεχνητή νοημοσύνη, Ιατρική απεικόνιση, Ακτινοτεχνολογία, Τεχνολόγος.

## ABSTRACT

The rise of Artificial Intelligence (AI) and its establishment in the field of Medical Imaging could not have left Radiographers out of the game. Today, many AI-based clinical applications already run in Medical Imaging departments, ranging from workflow optimization to examination quality improvement and patient safety enhancement. In the era of big data and the tremendous development in computational power and the computer science in general, Medical Imaging departments routinely exchange tones of data, and Radiographers should be the gatekeeper of this procedure, ensuring ethical practices and smooth workflow. However, this new digital era also creates the need for further education, especially in the critical field of computer science. All new academic curricula should be renewed, in order to implement all this new knowledge that Radiographers should acquire. It is vital for Radiographers to be able to manage and oversee the performance of any AI-based algorithms running at their department, and to act on their patients' benefit safely and effectively. Besides, Radiographers should always be the only link between technology and the patient, and human communication will never be replaced. It is the Radiographer's obligation to use AI in order to achieve high-quality healthcare services delivery, with patient safety and person-centred care in the heart of this procedure.

Keywords: Artificial intelligence; Medical imaging; Radiography; Radiographer.

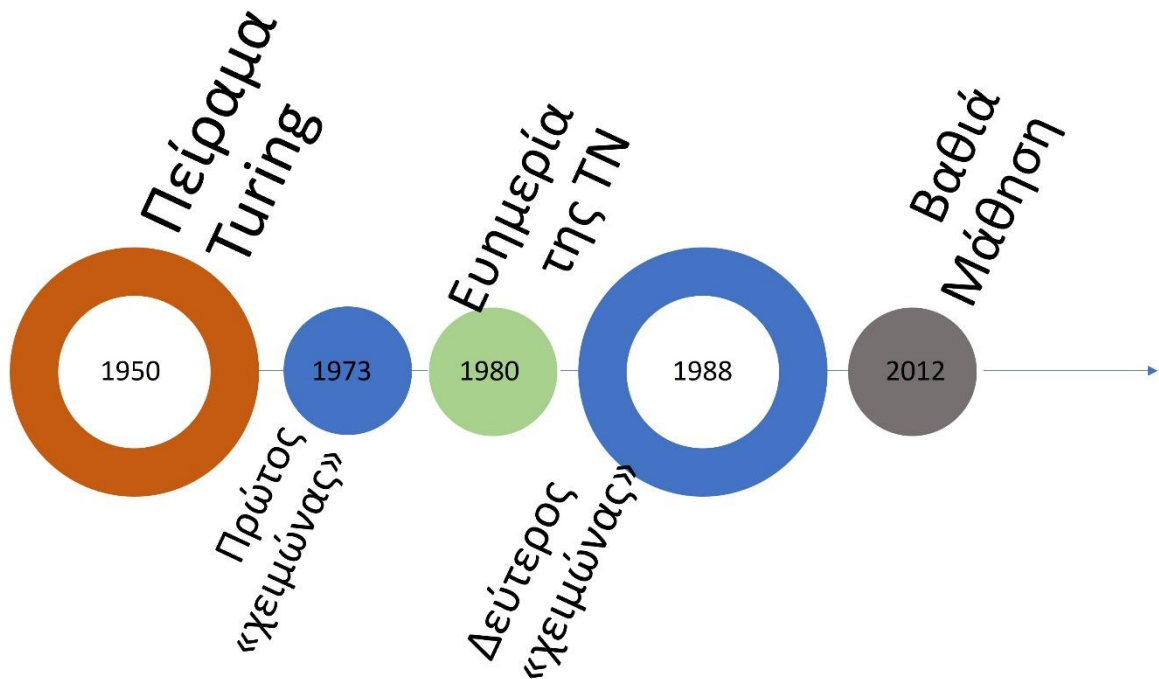
## Κεφάλαιο 1: Ιστορία και θεμελιώδεις αρχές της Τεχνητής Νοημοσύνης

### 1.1. Τεχνητή Νοημοσύνη-Ιστορική αναδρομή

#### 1.1.1. Δεκαετίες 1950-1960: Η γέννηση της Τεχνητής Νοημοσύνης

Προσπαθώντας να ρίξουμε φως στην ιστορική διαδρομή και προέλευση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN), είναι άκρως απαραίτητο να εντοπίσουμε την «γέννηση» της TN, αλλά και τους κυριότερους «σταθμούς» στην ιστορία της (Εικόνα 1). Η πρώτη φορά που τέθηκε το ερώτημα εάν θα μπορούσε να υπάρξει υπολογιστικό σύστημα με νοημοσύνη εφάμιλλη της ανθρώπινης ήταν το 1950, όταν ο γνωστός από την αποκρυπτογράφηση της μηχανής «Enigma» κατά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο μαθηματικός Alan Turing διερωτήθηκε αν οι μηχανές μπορούν να σκεφτούν σαν άνθρωποι. Το εν λόγω επιστημονικό άρθρο αποτέλεσε και την πρώτη επίσημη καταγραφή σχετικά με το θέμα αυτό (Turing, 1950<sup>84</sup>). Την ίδια χρονιά, ο Turing εκπόνησε το περίφημο πείραμά του, γνωστό και ως «The Turing Test» ή «Imitation Game», στο οποίο θέλησε να απαντήσει στο παραπάνω ερευνητικό του ερώτημα, θέτοντας συγκεκριμένες ερωτήσεις σε έναν άνθρωπο και μια μηχανή. Η μηχανή είχε σκοπό να αποπροσανατολίσει τον «ανακριτή» ώστε να μη γνωρίζει ποιος είναι ο άνθρωπος και ποια η μηχανή, ενώ ο άνθρωπος είχε σκοπό να βοηθήσει τον ανακριτή στη λύση του πειράματος (Warwick, 2014<sup>87</sup>). Αργότερα, στην δεκαετία του 1950, ξεκίνησε η

ανάπτυξη των πρώτων υπολογιστικών προγραμμάτων τα οποία μπορούσαν να παίξουν κάποια παιχνίδια, όπως το σκάκι, ενώ επίσης ξεκίνησε και η πρώτη ερευνητική προσπάθεια με στόχο την ανάπτυξη υπολογιστικού προγράμματος το οποίο θα μπορούσε να κατανοήσει την ανθρώπινη γλώσσα (Corrin, 2004<sup>17</sup>).



Εικόνα 1. Σχηματική απεικόνιση των κυριότερων σταθμών στην εξέλιξη της ΤΝ.

Το ερευνητικό πείραμα Dartmouth Summer Research Project το οποίο εκπονήθηκε στο Αννόβερο το καλοκαίρι του 1956, θεωρείται από πολλούς ιστορικούς και επιστήμονες υπολογιστών ως η γέννηση της ΤΝ (Kline, 2011<sup>38</sup>). Με πρωτοβουλία του καθηγητή μαθηματικών John McCarthy, η συνάντηση αυτή διοργανώθηκε γύρω από το σκεπτικό ότι κάθε πτυχή της μάθησης και κάθε άλλο είδος νοημοσύνης μπορεί να περιγραφεί με ανάλυση που θα καθιστά δυνατή την κατασκευή μιας μηχανής που θα τη μιμηθεί. Κατά τη διάρκεια αυτού του συνεδρίου, που διήρκεσε δύο μήνες, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ο όρος «Τεχνητή Νοημοσύνη».

Κατά την δεκαετία του 1960, οι μηχανικοί ηλεκτρονικών υπολογιστών ξεκίνησαν να αλλάζουν τον προσανατολισμό της σκέψης τους, με αποτέλεσμα να αρχίζουν πλέον να επιθυμούν την ανάπτυξη αλγορίθμων και μεθοδολογιών οι οποίες θα βασίζονται στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι λύνουν τα προβλήματα. Έτσι, για πρώτη φορά το επιστημονικό ενδιαφέρον στράφηκε προς αυτή την κατεύθυνση, αντί για την επιθυμία κατασκευής ενός ρομπότ το οποίο να είναι έξυπνο σαν τον άνθρωπο, ιδέα που υπερίσχυε σαν σκέψη κατά την προηγούμενη δεκαετία. (Το 1961), κατασκευάστηκε το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ το οποίο μπήκε στη γραμμή παραγωγής της εταιρείας General Motors. Το 1966 λειτούργησε, η περίφημη Eliza του Joseph Weizenbaum (Weizenbaum, 1966<sup>88</sup>), ένα υπολογιστικό πρόγραμμα εγκατεστημένο στο Massachusetts Institute of Technology (MIT) το οποίο χρησιμοποιούσε επεξεργασία φυσικής γλώσσας με σκοπό να μιμηθεί την ανθρώπινη συζήτηση (Kaul et al., 2020<sup>36</sup>), και στο οποίο ο χρήστης μπορούσε να δακτυλογραφεί μια κανονική συνομιλία χρησιμοποιώντας τα κλασικά σημεία στίξης.

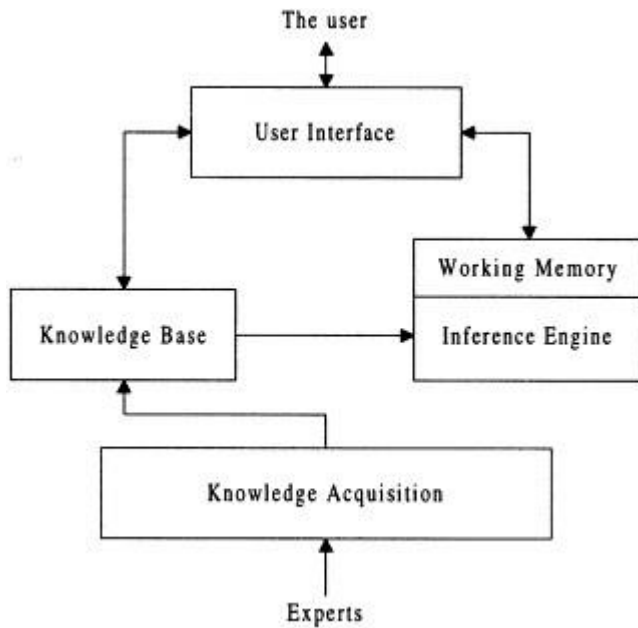
### 1.1.2. Δεκαετία 1970: Ο πρώτος «χειμώνας» της ΤΝ

Παρά τις ενθουσιώδεις προσπάθειες των επιστημόνων κατά τις πρώτες δύο δεκαετίες της ζωής της ΤΝ με σκοπό την ανάπτυξη αλγορίθμων και συστημάτων τα οποία να πλησιάζουν την ανθρώπινη νοημοσύνη, αλλά και το ταυτόχρονο ενδιαφέρον της βιομηχανίας, στα τέλη της δεκαετίας του 1970 η ΤΝ βίωσε τον λεγόμενο πρώτο «χειμώνα» της (Εικόνα 1). Ο όρος αυτός αναφέρεται πρακτικά σε μια μεγάλη περίοδο η οποία χαρακτηρίστηκε από μειωμένο ενδιαφέρον σχετικά με την ΤΝ, μειωμένη χρηματοδότηση ερευνών και καινοτομιών, αλλά και μια γενικότερη πτώση στο πλήθος των τεχνολογικών εξελίξεων (Kaul et al., 2020<sup>36</sup>). Ωστόσο, παρά την γενικευμένη μείωση στις τεχνολογικές καινοτομίες και την έλλειψη χρηματοδότησης, οι επιστήμονες συνέχισαν να συνεργάζονται με σκοπό την ανάπτυξη

κάποιων συστημάτων. Αποτέλεσμα της παραπάνω προσπάθειας ήταν η ανάπτυξη του MYCIN, το οποίο αναπτύχθηκε το 1970, και το οποίο αποτέλεσε την «είσοδο» της ΤΝ στον τομέα της ιατρικής, αφού ήταν ένα σύστημα το οποίο ειδικευόταν στην διάγνωση αιματολογικών νόσων και στην χορήγηση φαρμάκων (*Shortliffe et al., 1975<sup>76</sup>*). Άλλα πολύ σημαντικά συστήματα της δεκαετίας αυτής αποτελέσαν το «Stanford Cart», ικανό να διασχίσει ένα δωμάτιο αποφεύγοντας εμπόδια, το Prolog, μια συμβολική γλώσσα προγραμματισμού, και το SHRDLU, το οποίο χρησιμοποιούσε φυσική γλώσσα ώστε να επιτρέπει στον χρήστη να πραγματοποιεί συζητήσεις με τον υπολογιστή (JRC, 2020<sup>34</sup>).

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, δημιουργήθηκαν τα γνωστά «expert systems», συστήματα τα οποία μπορούσαν να αναγνωρίζουν την δική τους λογική και να εξηγούν τις αποφάσεις τους (*Tan et al., 2016<sup>81</sup>*). Τα συστήματα αυτά δημιουργήθηκαν εξάγοντας γνώση από ανθρώπους οι οποίοι ήταν «experts», με αποτέλεσμα την ικανότητά τους να διαχειριστούν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα, ενώ μπορούσαν επίσης να αλληλοεπιδράσουν και με ημιτελή δεδομένα. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει μια τυπική δομή και λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος (Εικόνα 2) (*Xu et al., 1998<sup>90</sup>*).





Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση ενός expert system.

### 1.1.3. Δεκαετία 1980: Η άνθιση της ΤΝ και ο δεύτερος «χειμώνας»

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η ΤΝ γνώρισε αυξημένο ενδιαφέρον και μια γενικότερη άνθιση κατά τη δεκαετία του 1980 (Amisha et al., 2019<sup>3</sup>). Η πληθώρα επιστημονικών δημοσιεύσεων και ερευνητικών έργων εκείνη την εποχή επαληθεύουν την μεγάλη δυναμική που είχε η ΤΝ την εποχή εκείνη (Fieschi, 2012<sup>24</sup>). Η έλευση των προσωπικών υπολογιστών (Personal Computers/PCs) και η ανάπτυξη εύκολων εργαλείων για την κατασκευή εμπειρων συστημάτων, οδήγησε σε άνθηση της ερευνητικής διαδικασίας, καθώς η όλη διαδικασία ανάπτυξης λογισμικού ήταν πιο εύκολη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια έρευνα του 1986 η οποία κατέδειξε έναν τρομερά μεγάλο αριθμό επιτυχημένων εφαρμογών για έμπειρα συστήματα σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς της επιστήμης (Negnevitsky, 2005<sup>59</sup>).

Σε επίπεδο ιατρικής απεικόνισης, η δεκαετία αυτή αποτελεί ορόσημο, καθώς τότε εισήχθησαν τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και η ηλεκτρονικά υποβοηθούμενη ανίχνευση

(Computer Aided Detection/CAD) (Fazal et al., 2018<sup>23</sup>), ένα πολύ χρήσιμο για την ιατρική απεικόνιση εργαλείο όπως αποδείχθηκε στο μέλλον.

Σε ότι αφορά τα νευρωνικά δίκτυα, αυτά μπορούν να είναι από εντελώς απλά (με έναν μόνο νευρώνα) έως και αρκετά πολύπλοκα, με πολλούς νευρώνες και συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Τα δίκτυα αυτά μπορούν να αποτελούνται από ένα μόνο επίπεδο (single-layer networks) ή να περιλαμβάνουν ένα ή και περισσότερα κρυφά επίπεδα (hidden layers) μεταξύ των επιπέδων εισόδου και εξόδου. Μέχρι τότε τα δίκτυα αυτά σπάνια αποτελούταν από παραπάνω από ένα επίπεδο (layer) μεταξύ των εισόδων (input) και εξόδων (output), και για πρώτη φορά εισήχθησαν τότε τα δίκτυα πολλαπλών επιπέδων (multilayer networks), αλλάζοντας έτσι την αρχιτεκτονική των νευρωνικών δικτύων (Sejnowski, 2020<sup>71</sup>). Ακόμα, στη δεκαετία αυτή έχουμε και μια στροφή στο ενδιαφέρον για πρώτη φορά στην σωματοποίηση της TN, με την μελέτη και δημιουργία ανθρωποειδών ρομπότ (Pfeifer and Lida, 2004<sup>62</sup>).

Δυστυχώς όμως, αυτή η μεγάλη έξαρση ενδιαφέροντος και η άνθιση της TN ακολουθήθηκε από τον λεγόμενο δεύτερο «χειμώνα» της TN, μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την αρνητική εξέλιξη έπαιξε το γεγονός ότι οι επιστήμονες της εποχής δεν προέβλεψαν σωστά τα υψηλά κόστη ανάπτυξης, συντήρησης, και διασφάλισης ποιότητας που είχαν αυτά τα συστήματα (Kulikowski, 2019<sup>39</sup>), ενώ αντίθετα θεωρείται πως η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning/ML) και οι καινοτομίες στην υπολογιστική υποδομή συνέβαλλαν στην μετέπειτα ανάκαμψη της TN (Arinez et al., 2020<sup>5</sup>).

#### 1.1.4. Δεκαετίες 1990-2010: Θεωρία πιθανοτήτων, στατιστικές προσεγγίσεις, Μηχανική Μάθηση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η δεκαετία που διανύουμε σηματοδοτείται σε έναν μεγάλο βαθμό από την έλευση της Μηχανικής Μάθησης (Delipetrev, Tsinaraki & Kostic,

2020<sup>19</sup>). Η άνθιση της ΤΝ σε αυτό το χρονικό σημείο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις τεχνολογικές εξελίξεις οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά την υπολογιστική ισχύ των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Εκτός από την μεγάλη καινοτομία της Μηχανικής Μάθησης, ένας ακόμη σταθμός στην ιστορία της ΤΝ ήταν το Human Genome Project (HGP), ένα μεγαλεπήβολο ερευνητικό πρόγραμμα με διεθνή συμμετοχή, το οποίο είχε ως στόχο την αποκρυπτογράφηση της χημικής σύστασης ολόκληρου του ανθρώπινου γενετικού κώδικα, και το οποίο ολοκληρώθηκε επιτυχώς το 2003 (Collins & Fink, 1995<sup>16</sup>).

Σε επίπεδο παιχνιδιών και ΤΝ, ήταν το 1997 όταν ένας υπολογιστής κατασκευασμένος από την εταιρεία IBM, ο Deep Blue, νίκησε στο σκάκι τον διεθνούς φήμης Ρώσο σκακιστή Garry Kasparov (Dagi, Barker & Glass, 2021<sup>18</sup>). Η νίκη αυτή αποτέλεσε ορόσημο στην ΤΝ, καθώς ήταν η απτή απόδειξη ότι η ΤΝ μπορεί να φτάσει και να ξεπεράσει την νοημοσύνη του ανθρώπου, τουλάχιστον σε συγκεκριμένες διεργασίες.

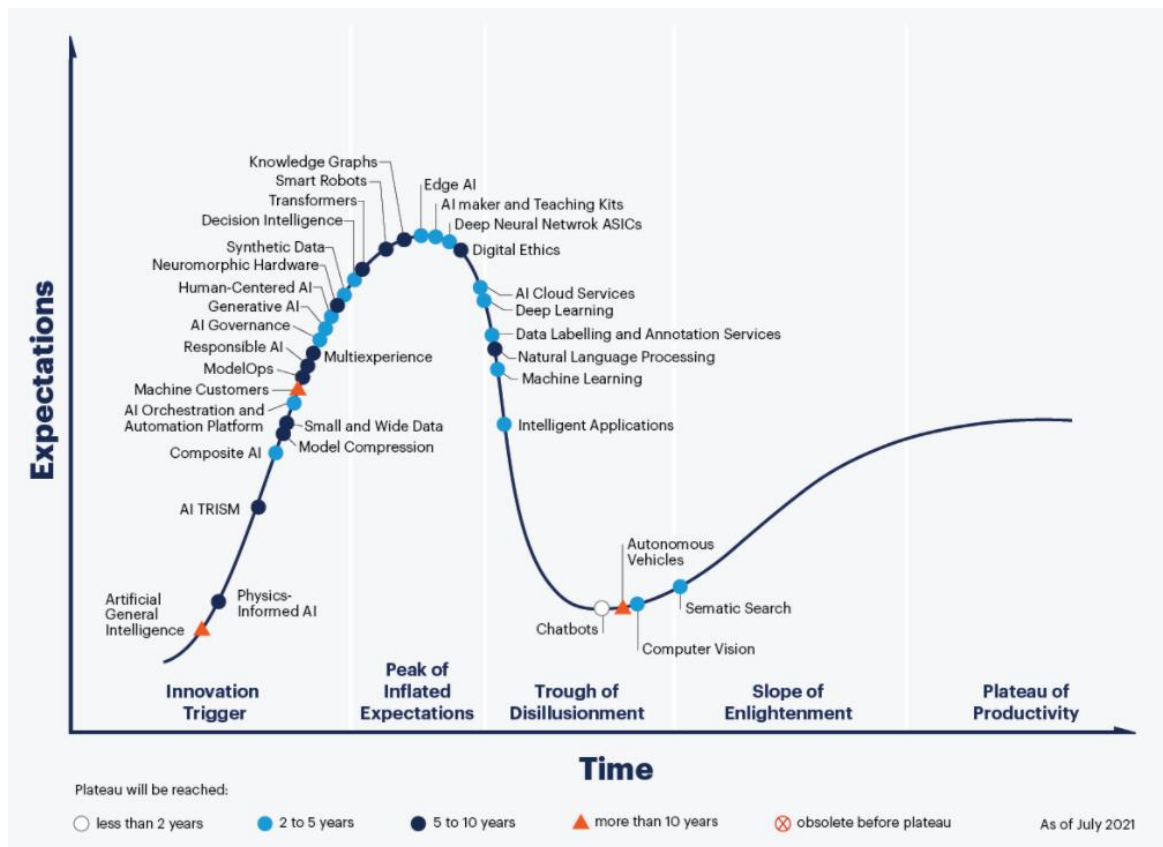
Μέσα σε αυτή την δεκαετία, οι επιστήμονες ανέπτυξαν μια μαθηματική θεωρία η οποία ήταν βασισμένη στην θεωρία της επιστήμης των υπολογιστών και στην θεωρία των πιθανοτήτων. Η ενσωμάτωση αυτής της θεωρίας στην ΤΝ είναι απαραίτητη όταν έχουμε μη προβλέψιμα αποτελέσματα, ή όταν ένα άγνωστο σφάλμα προκύπτει κατά την διάρκεια ενός πειράματος, έτσι ώστε να μπορέσουμε να αναδείξουμε και να διαχειριστούμε την αβεβαιότητα στη γνώση. Πρώτη η ΤΝ έδωσε έμφαση στην έννοια της λογικής και ποιοτικής δομής, και επίσης στην μοντελοποίηση των γλωσσολογικών δεδομένων στα πλαίσια της έρευνας και της θεωρίας των ασαφών συστημάτων (Denoeux, Dubois & Prade, 2020<sup>20</sup>).

#### **1.1.5.2010-παρόν: Μεγάλα Δεδομένα, Νευρωνικά Δίκτυα και Τεχνητή Νοημοσύνη**

Ένα ακόμη τεράστιο επίτευγμα-σταθμός για την ΤΝ ήταν η ανάπτυξη και χρησιμοποίηση μεγάλου όγκου δεδομένων (Big Data), αλλά και η χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (artificial neural networks/ANN) σε ποικίλες εφαρμογές. Σημαντικά παραδείγματα

αποτελούν η χρησιμοποίηση των ANN στον ασφαλή έλεγχο πτήσεων, στην μηχανολογία, την γεωργία, την εξόρυξη δεδομένων, στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας κα. Τα μεγάλα δεδομένα επιτρέπουν την αυτοματοποίηση της ανάλυσης πολύπλοκων διεργασιών, οι οποίες θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρες χωρίς αυτή την τεχνολογία. Σήμερα, τα μεγάλα δεδομένα θεωρούνται ότι κατέχουν πολύ σημαντική οικονομική και κοινωνική θέση στην ΤΝ, και έχουν αλλάξει κατά πολύ την εξέλιξη της ΤΝ (Surya, 2015<sup>80</sup>).

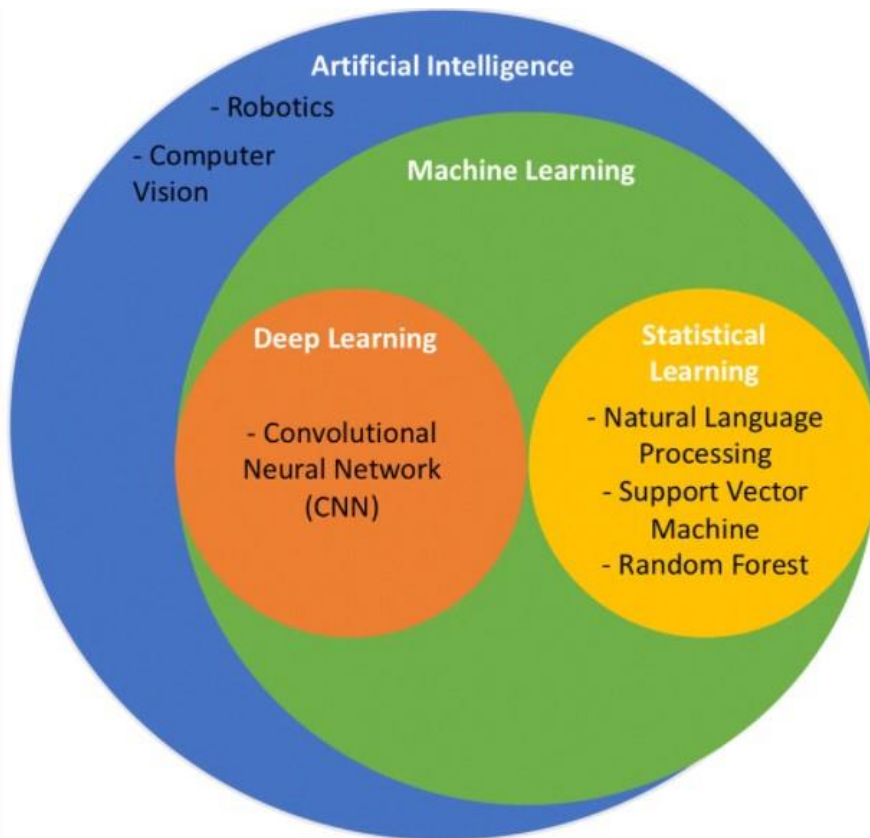
Η ΤΝ της επόμενης γενιάς, η οποία θα εκμεταλλευτεί στο έπακρο τα μεγάλα δεδομένα, θα μπορεί να προβεί σε βαθύ νευρωνικό συλλογισμό, να ελέγχει μοντέλα καθοδηγούμενα από μεγάλο όγκο δεδομένων, αλλά και να μαθαίνει από την εμπειρία (Zhuang *et al.*, 2017<sup>94</sup>). Η εξέλιξη των εφαρμογών και των τεχνολογικών επιτευγμάτων της ΤΝ είναι εξαιρετικά ταχεία, όπως είναι βεβαίως και οι εναλλαγές στο ερευνητικό αλλά και βιομηχανικό ενδιαφέρον. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3) απεικονίζεται το αποκαλούμενο «hype» της ΤΝ, για το 2021 μόνο, δημοσιευμένο από τον οίκο Gartner. Σε αυτό μπορεί εύκολα κανείς να αντιληφθεί πόσο δυναμική είναι η παρουσία και η εξέλιξη της ΤΝ σε όλους τους τομείς, και κατά πόσο αλλάζει μέσα σε ένα μόνο έτος.



Εικόνα 3. Gartner AI Hype Cycle 2021.

## 1.2. Δομή και σημαντικοί κλάδοι της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η ΤΝ μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας κλάδος της επιστήμης υπολογιστών ο οποίος χρησιμοποιεί τα κατάλληλα μηχανήματα και το λογισμικό ώστε να προσομοιάσει την ανθρώπινη συμπεριφορά και νοημοσύνη (Chan et al., 2020<sup>13</sup>). Το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4) απεικονίζει την ΤΝ μαζί με τους κύριους κλάδους της, τη Μηχανική Μάθηση, τη Βαθιά Μάθηση, τα Νευρωνικά Δίκτυα, και την επεξεργασία φυσικής γλώσσας, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 4. Η ΤΝ και οι κυριότεροι κλάδοι της<sup>13</sup>

### 1.2.1. Μηχανική Μάθηση

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, ένας τομέας της ΤΝ ο οποίος έχει παίξει καταλυτικό ρόλο στην εξέλιξη και ανάπτυξη των συστημάτων αυτών είναι η Μηχανική Μάθηση. Ως Μηχανική Μάθηση μπορεί να χαρακτηριστεί η χρήση υπολογιστικών μεθόδων οι οποίες χρησιμοποιούν την εμπειρία, με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης ή την πραγματοποίηση μιας ακριβούς πρόβλεψης (Mohri, Rostamizadeh and Talwalkar, 2018<sup>52</sup>). Με τον όρο εμπειρία εννοείται η παροχή πληροφοριών υπό την μορφή ηλεκτρονικών δεδομένων σε μορφή που επιτρέπει την ανάλυση, ενώ ο όγκος αυτών των δεδομένων και η ποιότητα αυτών είναι κριτικής σημασίας για την επιτυχία ή όχι των προβλέψεων τις οποίες θα κάνει το σύστημα. Τα τελευταία χρόνια, έχει εισαχθεί επίσης η έννοια της ερμηνεύσιμης Μηχανικής Μάθησης (interpretable Machine Learning), με σκοπό την επίτευξη ακριβών προβλέψεων, βάση των διαθέσιμων δεδομένων αλλά και την ερμηνεία του τι έχει μάθει το μοντέλο μας (Murdoch et al., 2019<sup>53</sup>).

Η Μηχανική Μάθηση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, με βάση τον τύπο της μάθησης η οποία χρησιμοποιείται. Έτσι, η Μηχανική Μάθηση χωρίζεται σε επιτηρούμενη μάθηση (supervised learning), μη επιτηρούμενη μάθηση (unsupervised learning) και ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning) (Rashidi et al., 2019<sup>66</sup>). Φυσικά, η κατηγοριοποίηση αυτή δεν είναι απόλυτη, αφού πλέον υπάρχουν αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης οι οποίοι εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες, εμπίπτουν είτε στην κατηγορία της μεταγωγής (transduction), η οποία είναι παρόμοια με την επιτηρούμενη μάθηση, είτε στην κατηγορία «learning to learn», όπου ο αλγόριθμος μαθαίνει από τα δικά του επαγωγικά σφάλματα (inductive bias) βασιζόμενος στην πρότερη εμπειρία του (Ayodele, 2010<sup>7</sup>). Τέλος, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται πολύ οι αλγόριθμοι μεταφορικής μάθησης (transfer learning), οι οποίοι χρησιμοποιούν ήδη εκπαιδευμένα μοντέλα ή/και γνώση, με σκοπό να αποφευχθεί η εκπαίδευση από την αρχή (Bougias et al., 2021<sup>12</sup>).

Η επιτηρούμενη μάθηση παρέχει στον αλγόριθμο τις επιθυμητές τιμές εισόδου (inputs) και εξόδου (outputs) σε ένα γνωστό σύνολο δεδομένων, και ο αλγόριθμος κάνει προβλέψεις επιτηρούμενος από τον άνθρωπο ώστε να φτάσει στις ήδη επισημασμένες τιμές. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης (classification), παλινδρόμησης (regression) και πρόβλεψης (forecasting). Η ημι-επιτηρούμενη μάθηση παρουσιάζει την διαφορά ότι χρησιμοποιεί επισημασμένα (labeled) δεδομένα και μη επισημασμένα (unlabeled) με σκοπό να εκπαιδευθεί ο αλγόριθμος να επισημαίνει τα μη επισημασμένα δεδομένα. Η μη επιτηρούμενη μάθηση δεν παρέχει γνώση και οδηγίες στον αλγόριθμο, με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να οργανώνει τα δεδομένα μόνος του ώστε να μπορέσει να λύσει το πρόβλημα. Έτσι, στην κατηγορία αυτή συναντάμε κυρίως την ομαδοποίηση (clustering) των όμοιων δεδομένων, αλλά και την ελαχιστοποίηση

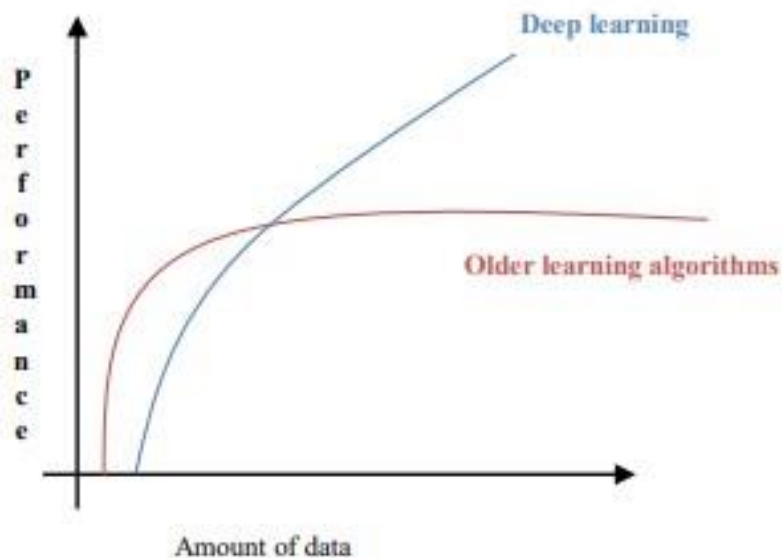
διαστάσεων (dimension reduction) η οποία ελαττώνει τον αριθμό των μεταβλητών. Τέλος, στην ενισχυτική μάθηση το σύστημα μαθαίνει μέσα από την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του, μαθαίνει από τα λάθη του, ενώ επίσης δεν υπάρχει ανθρώπινη επίβλεψη.

### 1.2.2. Βαθιά Μάθηση

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των υπολογιστών, οι οποίες επέτρεψαν την κατασκευή και διαθεσιμότητα κατά πολύ ανεπτυγμένων μονάδων επεξεργασίας γραφικών (graphic processing units/GPU), αλλά και η πρόσβαση σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, έφεραν την επανάσταση της Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning/DL). Σήμερα, οι μεγαλύτερες εταιρείες (Google, Facebook, Amazon κλπ.) χρησιμοποιούν Βαθιά Μάθηση για να μπορούν να αναλύουν τεράστιους όγκους δεδομένων.

Η Βαθιά Μάθηση είναι μια υπο-κατηγορία της Μηχανικής Μάθησης, η οποία έχει αποδειχθεί ότι υπερέρχει των υπόλοιπων μεθόδων Μηχανικής Μάθησης για συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων, δίνοντας μας την δυνατότητα να αναπτύσσουμε πλέον μοντέλα τα οποία αποδίδουν το ίδιο καλά ή και καλύτερα από τον άνθρωπο (*Chassagnon et al., 2020<sup>14</sup>*). Χαρακτηριστικό παράδειγμα της υπεροχής της Βαθιάς Μάθησης όταν έχουμε να διαχειριστούμε μεγάλο όγκο δεδομένων αποτελεί το διάγραμμα (Εικόνα 5) το οποίο απεικονίζει την κατά πολύ υψηλότερη απόδοση των αλγορίθμων Βαθιάς Μάθησης σε σχέση με τους λοιπούς αλγορίθμους, αυξανόμενου το όγκου δεδομένων (*Kumar and Manash, 2019<sup>40</sup>*).





Εικόνα 5. Απόδοση της Βαθιάς Μάθησης σε συνάρτηση με τον όγκο δεδομένων<sup>40</sup>.

Οι αλγόριθμοι Βαθιάς Μάθησης χρησιμοποιούν τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με σκοπό να μιμηθούν την δομή και λειτουργία των ανθρώπινων νευρώνων, τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω. Η ορολογία «βαθιά» προέρχεται από το γεγονός ότι σε αυτά τα δίκτυα υπάρχουν πολλά στρώματα (layers), παρότι αυτή είναι μια δυναμική διαδικασία, με αποτέλεσμα σήμερα ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο να έχει εκατοντάδες στρώματα ώστε να θεωρείται «βαθύ» (Gulli and Pal, 2017<sup>29</sup>).

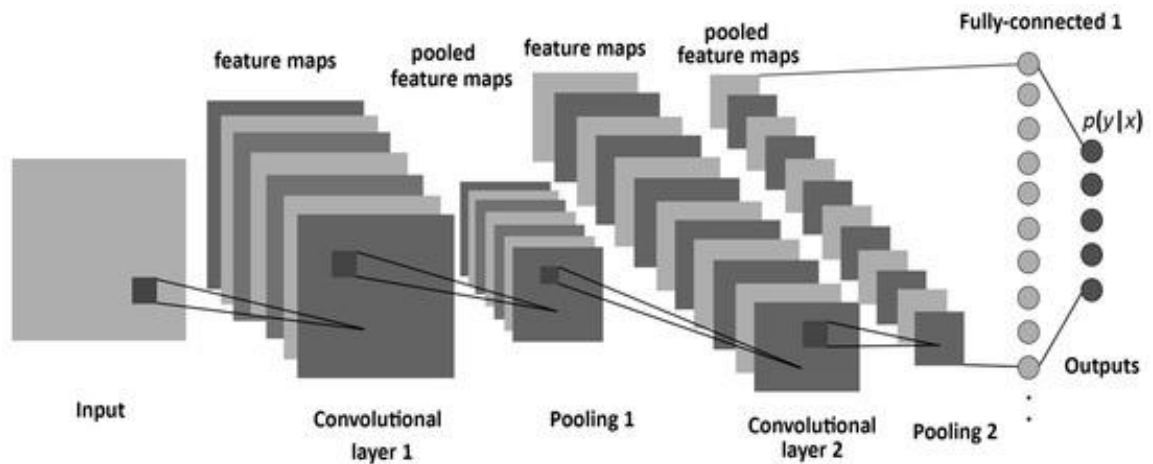
### 1.2.3. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν τις ρίζες τους πίσω στο 1943, όταν οι Warren McCulloch και Walter Pitts πρότειναν την δομή ενός τέτοιου δικτύου με σκοπό να μιμηθεί τον ανθρώπινο εγκέφαλο (Park and Park, 2018<sup>60</sup>). Έτσι, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μιμούνται την δομή του ανθρώπινου νευρικού συστήματος, έχοντας τα ίδια δικούς τους νευρώνες (υπολογιστικές μονάδες) και δημιουργώντας συνδέσεις μεταξύ τους με «βάρη», τα οποία επιτελούν το ίδιο έργο με τις συναπτικές συνδέσεις οι οποίες δημιουργούνται στους βιολογικούς οργανισμούς (Aggarwal, 2018<sup>1</sup>). Στην πράξη, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δεν έχουν σκοπό να λειτουργούν ως πιστά αντίγραφα των αντίστοιχων δικτύων του ανθρώπου,

αλλά κυρίως να αποτελέσουν αποτελεσματικά και ευφυή μοντέλα για την επίτευξη μη των σημαντικών λειτουργιών της γραμμικής παλινδρόμησης και της ταξινόμησης (*Bertolaccini et al., 2017<sup>10</sup>*).

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούνται στους διάφορους τομείς της ΤΝ χωρίζονται σε διάφορους τύπους, όπως τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (convolutional neural networks/CNN), τα δίκτυα ανατροφοδότησης (recurrent neural networks/RNN), τα δίκτυα μακράς βραχύχρονης μνήμης (long short-term memory/LSTM), τα δίκτυα πρόσθιας τροφοδότησης (feed forward neural networks), τα πολυεπίπεδα δίκτυα Perceptron (multilayer Perceptron) κ.α.

Το μεγαλύτερο ίσως ενδιαφέρον το παρουσιάζουν τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, τα οποία σήμερα χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε εφαρμογές της ιατρικής απεικόνισης, όπως η ταξινόμηση. Ένα τέτοιο δίκτυο αποτελεί μια μαθηματική κατασκευή η οποία αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη επίπεδων, το επίπεδο της συνέλιξης (convolutional layer), το επίπεδο της συσσώρευσης (pooling layer), και τα πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα (fully connected layers). Τα πρώτα δυο είδη επιπέδων επιτελούν την εξαγωγή των χαρακτηριστικών (feature extraction), ενώ το πλήρως συνδεδεμένο επίπεδο καταγράφει τα χαρακτηριστικά στην τελική τιμή εξόδου (*Yamashita et al., 2018<sup>85</sup>*). Το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 6) παρουσιάζει την δομή ενός τέτοιου δικτύου, αποτελούμενο από επίπεδα συνέλιξης, συσσώρευσης, αλλά και μια σειρά από πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα και τον τελικό ταξινομητή (classifier) (*Albelwi and Mahmood, 2017<sup>2</sup>*).



Εικόνα 6. Η αρχιτεκτονική ενός συνελκτικού νευρωνικού δικτύου<sup>2</sup>.

Τα συνελκτικά δίκτυα έχουν πλέον επιτρέψει την μάθηση από χαρακτηριστικά ιατρικών εικόνων τα οποία είναι εξαιρετικά αντιπροσωπευτικά, αρκεί να υπάρχουν επαρκή δεδομένα για την εκπαίδευση τους. Η έλευση αυτών των δικτύων σε συνδυασμό με την διαθεσιμότητα μεγάλων συνόλων δεδομένων έφεραν μεγάλη πρόοδο στην αναγνώριση εικόνας (Shin et al., 2016<sup>74</sup>).

#### 1.2.4. Αναγνώριση προτύπων

Η δυνατότητα της TN να αναγνωρίζει κάποια πρότυπα είχε συζητηθεί ήδη από πολύ νωρίς, όταν αποδείχθηκε ότι υπάρχει η δυνατότητα της αυτοματοποιημένης εξαγωγής πληροφοριών από σήματα (Nandhakumar and Aggarwal, 1985<sup>56</sup>). Ως αναγνώριση προτύπων ορίζεται ο επιστημονικός τομέας ο οποίος έχει ως στόχο την ταξινόμηση κάποιων αντικειμένων σε έναν αριθμό κατηγοριών, ή κλάσεων όπως συνήθως ονομάζονται (Theodoridis and Koutroumbas, 2006<sup>82</sup>). Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να είναι είτε εικόνες, είτε κυματομορφές σημάτων, είτε οποιαδήποτε μορφή μετρήσεων οι οποίες χρειάζονται ταξινόμηση.

Η αναγνώριση προτύπων με τη βοήθεια της TN σήμερα επιτελείται σε έναν μεγάλο βαθμό από αλγόριθμους Μηχανικής αλλά και Βαθιάς Μάθησης, και κυρίως χρησιμοποιώντας

τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σε συνδυασμό με Βαθιά Μάθηση. Έτσι επιτυγχάνεται να εξάγονται τα πραγματικά σημαντικά χαρακτηριστικά από μια εικόνα ή ένα βίντεο. Η αναγνώριση προτύπων σήμερα βρίσκει ήδη πολλές και ποικίλες εφαρμογές, όπως στην αναγνώριση φωνής, στην ρομποτική, στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας, αλλά και στην μηχανική ή τεχνητή όραση, ενώ είναι επίσης πολύ σημαντική στην επεξεργασία ιατρικών εικόνων και την τηλεϊατρική (Raj and Balaji, 2022<sup>64</sup>). Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τεράστιας χρησιμότητας της αναγνώρισης προτύπων σε όλους τους τομείς της ζωής μας η εφαρμογή της στην αστρονομία για την αναζήτηση αστέρων νετρονίων (pulsars) οι οποίοι περιστρέφονται γύρω από τη γη, με χρήση αλγορίθμων Βαθιάς Μάθησης και νευρωνικών δικτύων (Zhu et al., 2014<sup>93</sup>).

#### 1.2.5. Επεξεργασία φυσικής γλώσσας

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (natural language processing/NLP) ορίζεται ως η υπολογιστική μέθοδος η οποία αναλύει ένα φυσικώς δημιουργημένο κείμενο το οποίο είναι βασισμένο ταυτόχρονα και σε ένα σύνολο θεωριών και σε ένα σύνολο τεχνολογιών, με σκοπό να επιτύχει επεξεργασία γλώσσας παραπλήσια με αυτή του ανθρώπου και να επιτελέσει ένα σύνολο εργασιών ή εφαρμογών (Liddy, 2001<sup>44</sup>). Επομένως, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας περιλαμβάνει όλες εκείνες τις διεργασίες τις οποίες επιτελούν οι υπολογιστές (hardware και software) ώστε να αναλύσουν ή να συνθέσουν γραπτό ή προφορικό λόγο.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω, με βάση τους τομείς στους οποίους επικεντρώθηκε η έρευνα και η ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, α) στην κατανόηση φυσικής γλώσσας, β) στην δημιουργία φυσικής γλώσσας, γ) στην αναγνώριση λόγου ή φωνής, δ) στην διόρθωση ορθογραφίας και γραμματικής σε ένα κείμενο, και ε) την αυτόματη μηχανική μετάφραση/διερμηνεία (Sethunya et al., 2016<sup>73</sup>).

Οι υπολογιστικές αυτές μέθοδοι εμπíπτουν ταυτόχρονα στους τομείς της ΤΝ, της ρομποτικής, των μαθηματικών, της επιστήμης των υπολογιστών, της επιστήμης της γλωσσολογίας, αλλά και της ψυχολογίας, και έχουν πολύ μεγάλες εφαρμογές σε όλους τους τομείς. Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας ευνοήθηκε πολύ από την μεγάλη ανάπτυξη του διαδικτύου και του παγκόσμιου ιστού (World Wide Web), και σήμερα χρησιμοποιείται από πολλούς οργανισμούς και εταιρείες παγκοσμίως.

#### 1.2.6. Ασαφής Λογική

Η έννοια της ασαφούς λογικής (fuzzy logic) εισήχθη στην ΤΝ σαν μια επίσημη μαθηματική θεωρία η οποία μπορεί να αναπαραστήσει την αβεβαιότητα. Αυτό θεωρείται κρίσιμο στην ΤΝ, καθώς η ίδια προσπαθεί να μιμηθεί τον τρόπο με τον οποίο σκέφτεται ο ανθρώπινος νους, και είναι γνωστό ότι ο τρόπος της ανθρώπινης σκέψης δεν είναι ακριβής (Klement and Slany, 1994<sup>37</sup>). Παρά την ονομασία, η ασαφής λογική δεν εμπεριέχει κάτι το αόριστο, αντιθέτως είναι ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες. Ο λόγος που αποκαλείται «ασαφής» οφείλεται στο γεγονός ότι σύμφωνα με αυτή την λογική, ο συλλογισμός δε μπορεί να είναι ποτέ ακριβής, σύμφωνα με το ανθρώπινο μοντέλο συλλογισμού (Zadeh, 1992<sup>91</sup>). Μπορεί δικαίως να θεωρείται ένας από τους τομείς της ΤΝ, καθώς στην ουσία αποτελεί ένα λογισμικό ΤΝ, το οποίο μάλιστα λαμβάνει ενεργό ρόλο στην λήψη αποφάσεων.

Η ασαφής λογική μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε συστήματα με πολλαπλές τιμές εισόδου (outputs) και εξόδου (outputs), ενώ επίσης βρίσκει πεδίο εφαρμογής και σε μη γραμμικά συστήματα. Σε αντίθεση με την δυαδική λογική, όπου οι τιμές μπορούν να πάρουν μόνο τις τιμές 0 και 1, η ασαφής λογική εμπεριέχει όλες εκείνες τις τιμές οι οποίες υπάρχουν μεταξύ του 0 και του 1. Τα ασαφή συστήματα σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ιατρική και στην βιοπληροφορική, μπορούν να ελέγχουν και να αναλύουν διαδικασίες, να

λαμβάνουν αποφάσεις, ενώ χρησιμοποιούνται επίσης για την ανάπτυξη μοντέλων βασισμένων σε κανόνες της ασαφούς λογικής (Hiwarkar and Iyer, 2013<sup>32</sup>).

#### 1.2.7. Ρομποτική

Τα τελευταία χρόνια οι έννοιες TN και ρομποτική είναι άρρηκτα συνδεδεμένες, και πολλοί ακόμα και σήμερα έχουν στο μυαλό τους την TN ως «τα ρομπότ». Υπό αυτό το πρίσμα, οι περισσότεροι θεωρούν ότι τα ρομπότ είναι ανθρωπόμορφα. Ως ρομπότ ορίζεται, σύμφωνα με την Διεθνή Ομοσπονδία Ρομπότ (International Federation of Robots/IFR), μια συσκευή πολλαπλών χρήσεων, η οποία είναι επαναπρογραμματιζόμενη, σε τουλάχιστον τρεις άξονες, και η οποία ελέγχεται με αυτόματο τρόπο ώστε να επιτελέσει συγκεκριμένες αυτοματοποιημένες εργασίες (Raj and Seamans, 2019<sup>65</sup>).

Οι κυριότερες κατηγορίες ρομπότ είναι α) τα ανθρωπόμορφα ρομπότ, τα οποία είναι και τα πιο γνωστά στο ευρύ κοινό μέσα από τις κινηματογραφικές ταινίες, β) τα κινητά ρομπότ, τα οποία δεν είναι ανθρωπόμορφα (βλ. σκούπες ρομπότ), και γ) τα «motes», τα οποία είναι ρομπότ μινιατούρες (Murphy, 2019<sup>55</sup>). Η κατασκευή των ρομπότ απαιτεί την ύπαρξη πολύπλοκων μηχανισμών, πολλών συνδέσεων οι οποίες ενεργοποιούνται με τη βοήθεια ειδικών ενεργοποιητών (actuators) από ηλεκτρονικό ή υδραυλικό σύστημα, κατάλληλων αισθητήρων για τον έλεγχο των κινούμενων μερών, και φυσικά την υποστήριξη όλου του συστήματος από τις τεχνολογίες της TN (Lynch and Park, 2017<sup>47</sup>).

Τα ρομπότ σήμερα έχουν βρει τεράστιες εφαρμογές σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης ζωής. Ενδεικτικά, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται ήδη στην βιομηχανία για αυτοματοποίηση και εξέλιξη της ροής εργασιών, στην αρχιτεκτονική, την ιατρική, την αεροδιαστημική κλπ., ενώ θεωρείται ότι έχουν αναπτυχθεί γρηγορότερα και ευκολότερα χάρη στο διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things/IoT) (Grieco et al., 2014<sup>28</sup>). Τέλος, τα ρομπότ αποδεδειγμένα

συνέβαλλαν τα μέγιστα κατά τη διάρκεια της τρομερής πανδημίας της νόσου COVID-19, επιτελώντας κρίσιμες εργασίες σε πολλά νοσοκομεία ανά τον κόσμο (Zhuo et al., 2021<sup>95</sup>).

## Κεφάλαιο 2: Η Τεχνητή Νοημοσύνη στην Υγεία

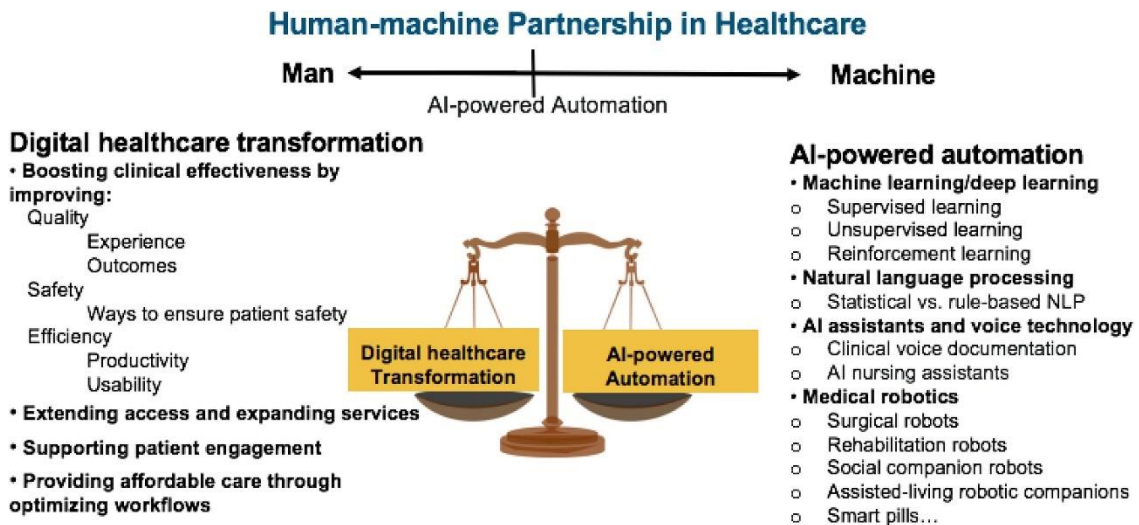
Πληθώρα εφαρμογών και συστημάτων ΤΝ έχουν ήδη σχεδιασθεί, αναπτυχθεί, και ενσωματωθεί στον χώρο της Υγείας, καθεμιά από αυτές επιτελώντας και διαφορετικό σκοπό και έργο. Η ΤΝ έχει ήδη εφαρμοστεί σε πολλές πτυχές της ιατρικής, όπως κλινική, εργαστηριακή, διαγνωστική, θεραπευτική, χειρουργική, αποκατάσταση κλπ. Κρίσιμοι παράγοντες για αυτή την αλματώδη εξέλιξη υπήρξαν αφενός η μεγάλη ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων, αφετέρου δε η ικανότητα της ΤΝ να λαμβάνει, αναλύει και να καταγράφει τεράστιους όγκους δεδομένων (Secinaro et al., 2021<sup>70</sup>).

### 2.1. Διαχείριση Υπηρεσιών Υγείας

Μια από τις άμεσες προτεραιότητες τις οποίες έχει θέσει ο άνθρωπος σχετικά με τις υπηρεσίες Υγείας, είναι η ανάπτυξη αποτελεσματικών τρόπων βελτίωσης των παρεχόμενων υπηρεσιών με παράλληλη μείωση του κόστους το οποίο τις συνοδεύει. Η ΤΝ έχει ήδη εισέλθει δυναμικά στο κομμάτι του ορθολογισμού της διαχείρισης των υπηρεσιών Υγείας. Οι εφαρμογές της ΤΝ στοχεύουν να κάνουν το ανθρώπινο έργο πιο εύκολο, ενώ παράλληλα να προσπαθήσουν να εξαλείψουν τα ανθρώπινα λάθη τα οποία λαμβάνουν χώρα από αμέλεια, προς όφελος των ασθενών (Sunarti et al., 2021<sup>79</sup>).

Η πλήρης ένταξη της ΤΝ στην διαχείριση των υπηρεσιών Υγείας έχει κάποια πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η βελτίωση της διαχείρισης του ασθενούς, η πληθώρα επιλογών και αποτελεσμάτων, η μείωση του οικονομικού κόστους στην Υγεία, η προοπτική για λιγότερες παραπομπές και εισαγωγές σε δομές Υγείας, η εξοικονόμηση χρόνου κλπ. Επίσης, η ΤΝ μπορεί να βοηθήσει πολύ σε δομές Υγείας οι οποίες βρίσκονται σε επαρχιακές περιοχές,

ενώ μπορεί να συντελέσει σε ευκολότερη εύρεση επιστημονικού προσωπικού και στην ορθότερη διαχείριση του (Sunarti et al., 2021<sup>79</sup>).



Εικόνα 7. Το ισοζύγιο συνεργασίας μεταξύ ανθρώπου και μηχανημάτων στην Υγεία<sup>15</sup>.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η σημασία της αλληλεπίδρασης των συστημάτων ΤΝ και των ανθρώπων στον τομέα της Υγείας, η παραπάνω εικόνα (Εικόνα 7) απεικονίζει σχηματικά τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να συνεργαστούν μηχανές και άνθρωπος για την επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ΤΝ σε αυτόν τον τομέα έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποιότητα αλλά και την παραγωγικότητα των υπηρεσιών Υγείας, να αυξήσει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά τους, και επίσης να δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες για μια πιο καθολική και ίση κατανομή των υπηρεσιών στον πληθυσμό (Chen and Decary, 2019<sup>15</sup>).

## 2.2. Προγνωστική Ιατρική

Στον χώρο της ιατρικής θεωρείται κρίσιμο και εξαιρετικής σημασίας το να μπορέσουμε να έχουμε όσο πιο πολλές προγνωστικές πληροφορίες μπορούμε, ώστε να προβλέψουμε το πιθανό αποτέλεσμα και την έκβαση μιας κατάστασης/νόσου έγκαιρα ώστε να δράσουμε αποτελεσματικά και προληπτικά. Η ΤΝ έχει ήδη πολλές και επιτυχημένες εφαρμογές και σε



αυτόν τον τομέα, έχοντας την δυνατότητα να κατασκευάσει και να αναπτύξει συγκεκριμένα προγνωστικά μοντέλα.

Ένα βασικό μέλημα της ιατρικής κοινότητας είναι να μπορέσει για συγκεκριμένες νόσους (πχ νεοπλασίες) να προβλέψει την συνολική επιβίωση των ασθενών. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν επιφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα σε αυτό το κομμάτι, επιτυγχάνοντας υψηλά ποσοστά ακρίβειας των μοντέλων αυτών σε νεοπλασματικές νόσους όπως ο καρκίνος ωοθηκών (Enshaei, Robson and Edmondson, 2015<sup>21</sup>). Τα μοντέλα αυτά είναι ικανά να παρέχουν πληροφορίες όχι μόνο για αλλαγές στον όγκο, αλλά ακόμα και για παρενέργειες των θεραπειών, όπως πχ σε ασθενείς που υποβάλλονται σε ανοσοθεραπεία (Trebeschi et al., 2021<sup>83</sup>). Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν επίσης αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικά στην ανάλυση της γονιδιακής έκφρασης των ογκολογικών ασθενών, με αποτέλεσμα την μείωση των λαθών στις προβλέψεις και την συνολική βελτίωση της πρόγνωσης του καρκίνου (Bashiri et al., 2017<sup>9</sup>). Συμπερασματικά, η TN έχει εξαιρετικά μεγάλη αξία στην προγνωστική ιατρική, παρέχοντας κρίσιμες και ακριβείς πληροφορίες για πληθώρα ασθενειών, βοηθώντας έτσι στην αποτελεσματικότερη διαχείριση τους και στην εφαρμογή της εξατομικευμένης ιατρικής.

### 2.3. Εξατομικευμένη Ιατρική

Η σύγχρονη αντίληψη στην ιατρική έχει επιφέρει τα τελευταία χρόνια την έννοια της εξατομικευμένης ιατρικής, της αντίληψης δηλαδή ότι οι οποιοσδήποτε παρεμβάσεις γίνονται θα πρέπει να προσαρμόζονται στις ανάγκες του κάθε ασθενούς, με γνώμονα τα μοναδικά για κάθε άνθρωπο γενετικά, φυσιολογικά, βιοχημικά, αλλά και συμπεριφορικά του χαρακτηριστικά. Η μεγάλη αξία της TN στην εξατομικευμένη ιατρική έγκειται στο γεγονός ότι προκειμένου να μπορέσει ένα πρωτόκολλο να εξατομικευθεί χρειάζεται να γνωρίζουμε πολύ καλά όλες τις ιδιαιτερότητες και την συνολική κατάσταση του ασθενούς,

επομένως χρειαζόμαστε συστήματα τα οποία θα μπορούν να παράγουν και να διαχειρίζονται τεράστιους όγκους δεδομένων, όπως η αλληλουχία του γενετικού κώδικα ή ένα πλήρες απεικονιστικό πρωτόκολλο (Schork, 2019<sup>68</sup>).

Η μεγάλη αξία της TN στην εξατομικευμένη ιατρική μπορεί να επιβεβαιωθεί μέσα από μια πληθώρα εφαρμογών και συστημάτων για τον σκοπό αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη μιας εξατομικευμένης κλίμακας κινδύνου η οποία χρησιμοποιεί TN για να αναλύσει θερμικές εικόνες (Thermalytix Risk Score/TRS) και να αναγνωρίσει έτσι τις γυναίκες οι οποίες είναι υψηλού κινδύνου για ανάπτυξη καρκίνου του μαστού, επιτυγχάνοντας υψηλότερη απόδοση από την μέχρι πρότινος κλίμακα κινδύνου η οποία ήταν βασισμένη στην ηλικία των ασθενών, και προχωρώντας επιπλέον σε ταξινόμηση των ασθενών σε κατηγορίες ώστε να δώσει εξατομικευμένες οδηγίες για τον έλεγχο του μαστού (Lin and Wu, 2022<sup>45</sup>).

Συμπερασματικά, η ευρεία χρήση της TN σε συνδυασμό με την ιατρική ακριβείας (precision medicine) έχουν ως αποτέλεσμα την βελτιωμένη εξατομικευμένη ιατρική και φροντίδα, η οποία με τη σειρά της στοχεύει στον καλύτερο σχεδιασμό θεραπείας και στην πρόβλεψη του κινδύνου. Αυτά επιτυγχάνονται μέσα από κλινικές, γενετικές αλλά και κοινωνικές πληροφορίες σχετικά με τις αντίστοιχες αυτές συνιστώσες (Johnson et al., 2021<sup>33</sup>).

#### 2.4. Ευφυής λήψη αποφάσεων

Η ορθή αλλά και ταχεία λήψη αποφάσεων είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας στην Υγεία, και ειδικά όταν πρόκειται για διαχείριση ασθενών και καταστάσεων υψηλού κινδύνου. Η TN εφαρμόζεται ήδη επιτυχώς στον τομέα της υποστήριξης της λήψης αποφάσεων.

Η κατηγοριοποίηση των ασθενών αναλόγως του κινδύνου είναι πολύ σημαντική σε συγκεκριμένους τομείς της ιατρικής. Η TN μπορεί να βοηθήσει τους ιατρούς να

κατηγοριοποιήσουν τους ασθενείς που πρόκειται να υποβληθούν σε επέμβαση, σε ομάδες κινδύνου, με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου, την βέλτιστη διαχείριση των πόρων, αλλά και την ορθή λήψη αποφάσεων σε διεγχειρητικό επίπεδο. Με χρήση Μηχανικής και Βαθιάς Μάθησης η TN βοηθάει τους κλινικούς ιατρούς, τους ασθενείς, αλλά και τις οικογένειες τους στη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, στην ενεργή και από κοινού στην λήψη αποφάσεων για την βέλτιστη δυνατή ενέργεια (*Giordano et al., 2021<sup>27</sup>*).

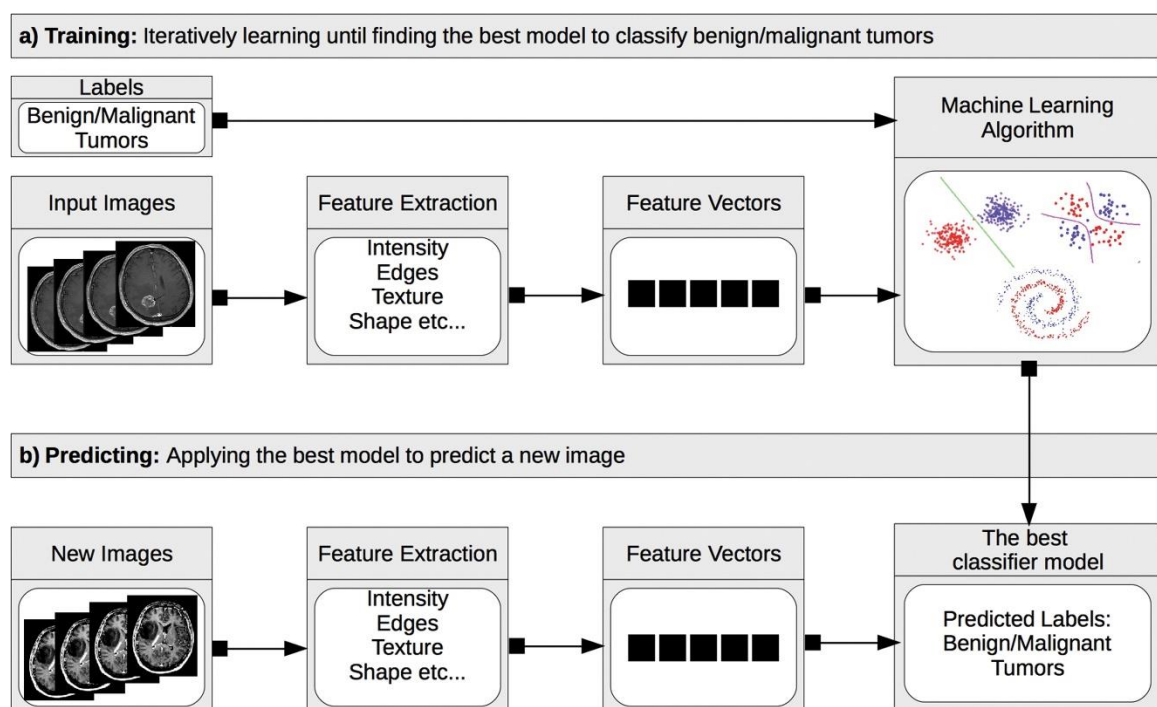
Η Μηχανική Μάθηση επίσης συνεισφέρει στην ορθή λήψη αποφάσεων μέσα από την αναγνώριση όλων των πιθανών αποτελεσμάτων στην νοσηλεία ενός ασθενούς, με αποτέλεσμα να ελαττώνονται τα απαραίτητα βήματα τα οποία έχει να κάνει ο ιατρός, αλλά και εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος. Επίσης έχει ήδη βρει πολλές εφαρμογές στην καταγραφή των σημαντικών δεδομένων (πχ ζωτικά σημεία του ασθενούς) σε μόνιμη βάση ώστε να έχει ο ιατρός πιο άμεση και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Γενικά, η TN στον τομέα αυτό της λήψης αποφάσεων σκοπεύει να ελαττώσει την αβεβαιότητα η οποία πάντοτε υπάρχει σε αυτές τις διαδικασίες, παρότι η αβεβαιότητα δε μπορεί να μηδενιστεί, και έτσι η σχετικά αβεβαιότητα πρέπει να εμπλέκεται στη λήψη των αποφάσεων (*Harish et al., 2021<sup>31</sup>*).

## Κεφάλαιο 3: Τεχνητή Νοημοσύνη και Ιατρική Απεικόνιση

### 3.1. Ταξινόμηση ιατρικών εικόνων

Ίσως η πιο διαδεδομένη και ταχέως εξελισσόμενη εφαρμογή της TN στην ιατρική απεικόνιση σήμερα είναι η ταξινόμηση (classification) μιας βλάβης σε κλάσεις. Η Μηχανική Μάθηση χρησιμοποιείται συστηματικά στην ιατρική απεικόνιση για την ταξινόμηση των ιατρικών εικόνων, χάριν στην ικανότητα της TN να αναγνωρίζει πολύπλοκα μοτίβα στις εικόνες αναλύοντας τις τιμές έντασης του κάθε ογκοστοιχείου (voxel). Η ταξινόμηση μπορεί να είναι δυαδική, όταν ζητούμενο είναι η ύπαρξη ή όχι μιας παθολογίας στην εικόνα,

μπορεί να έχει πολλαπλές κλάσεις, ή να αφορά το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) ξεχωριστά (Barragan-Montero et al., 2021<sup>8</sup>). Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 8) περιγράφεται η διαδικασία της εκπαίδευσης αλλά και της μετέπειτα εφαρμογής του αλγορίθμου για την ταξινόμηση των ιατρικών εικόνων. Στο παράδειγμα ταξινόμησης που περιλαμβάνεται στη παρακάτω εικόνα, η ταξινόμηση είναι δυαδική (καλοήθεια/κακοήθεια) και αφού το μοντέλο έχει εκπαιδευθεί, εφαρμόζεται σε νέες εικόνες για να βοηθήσει τους ιατρούς στην σωστή διάγνωση (Erickson et al., 2017<sup>22</sup>).



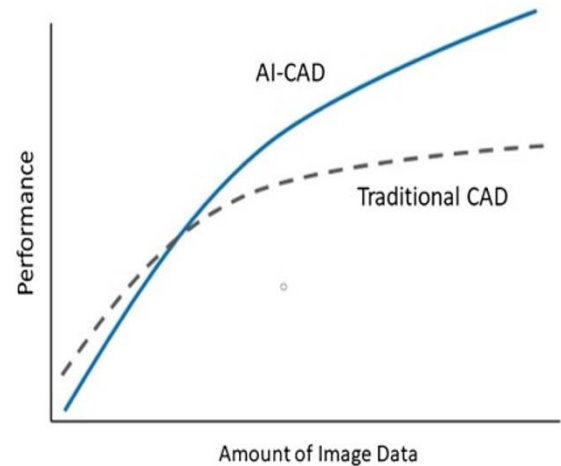
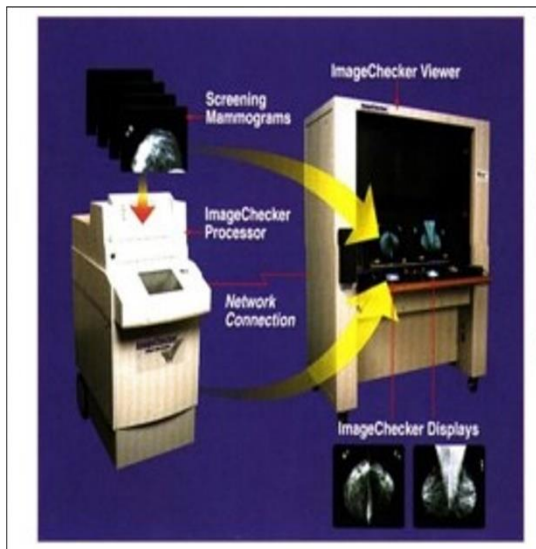
Εικόνα 8. Τυπικό μοντέλο Μηχανικής Μάθησης για ταξινόμηση εικόνων στην ιατρική απεικόνιση<sup>22</sup>.

Η επιβλεπόμενη μάθηση χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση εικόνων όταν η μεταβλητή της τιμής εξόδου είναι κατηγορική, ενώ για εργασίες παλινδρόμησης (regression) όταν οι μεταβλητές είναι συνεχείς (Avanzo et al., 2021<sup>6</sup>). Οι παραμετρικοί αλγόριθμοι ΤΝ, όπως η λογιστική παλινδρόμηση (logistic regression) είναι συνήθως ταχύτεροι και πιο εύκολοι, ενώ οι μη παραμετρικοί αλγόριθμοι είναι πιο απαιτητικοί σε όγκο δεδομένων. Από τους μη παραμετρικούς αλγόριθμους, ξεχωρίζουν οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (support

vector machines/SVM), οι οποίοι είναι από τους πιο δημοφιλείς αλγορίθμους επιβλεπόμενης μάθησης και χρησιμοποιούνται στην ιατρική απεικόνιση τόσο για εργασίες ταξινόμησης όσο και για παλινδρόμηση.

### 3.2. Ανίχνευση βλαβών-υποβοηθούμενη διάγνωση

Η TN δραστηριοποιείται εδώ και πολλά χρόνια στο κομμάτι της υποβοηθούμενης από υπολογιστή διάγνωσης (CAD-Computer Aided Diagnosis) και ο πρώτος τομέας της ιατρικής απεικόνισης που την υιοθέτησε και την ενέταξε στην κλινική πράξη ήταν διάγνωση/παρακολούθηση του καρκίνου του μαστού με την εξέταση της μαστογραφίας, λειτουργώντας ως μια «δεύτερη γνώμη» για τον ιατρό ακτινοδιαγνώστη (*Shiraishi et al., 2011<sup>75</sup>*). Το πρώτο μηχάνημα CAD λειτούργησε το 1998. Έκτοτε, υπάρχει μια χαστική διαφορά στην απόδοση των συστημάτων αυτών, λόγω της έλευσης της Βαθιάς Μάθησης (Εικόνα 9). Η ανάπτυξη των συστημάτων CAD είχε ως στόχο τον περιορισμό των σφαλμάτων λόγω αντίληψης (perceptual errors) στα οποία υποπίπτουν οι ιατροί ακτινοδιαγνώστες, κυρίως λόγω φόρτου εργασίας, μεγάλου αριθμού εικόνων και κούρασης. Έτσι, σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η βελτίωση της ταχύτητας στην ανάγνωση της εικόνας, αύξηση της ακρίβειας στην διάγνωση, αλλά και μια βελτίωση στην κόπωση των ιατρών.



Εικόνα 9. Το πρώτο μηχάνημα CAD εν έτη 1998, και δίπλα η τεράστια διαφορά απόδοσης μεταξύ των συμβατικών CAD και των νεότερων τα οποία βασίζονται σε DL<sup>25</sup>.

Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος στις τεχνικές της υποβοηθούμενης διάγνωσης είναι η χρονική αφαίρεση (temporal subtraction), η οποία επιτυγχάνει αφαίρεση πολλών ανατομικών δομών (πχ αγγεία, οστά κλπ.) από μια συγκεκριμένη εικόνα μέσω κατάλληλων υπολογισμών από τις προηγούμενες εικόνες του ίδιου ασθενούς, έχοντας όμως το μειονέκτημα της μεγάλης εξάρτησης από την ποιότητα εικόνας (Aoki et al., 2021<sup>4</sup>).

Τα παραπάνω προβλήματα της κλασικής υποβοηθούμενης διάγνωσης ήρθε να επιλύσει η TN, αξιοποιώντας τη Βαθιά Μάθηση και τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα. Μια χαρακτηριστική διαφορά τους είναι ότι η υποβοηθούμενη διάγνωση η οποία στηρίζεται στην TN (Artificial Intelligence-CAD/AI-CAD) «διψάει» για πολλά δεδομένα, και έτσι η απόδοση της ανεβαίνει κατακόρυφα με την αύξηση του όγκου δεδομένων. Τα συστήματα αυτά της TN είναι καθοδηγούμενα από τα υπάρχοντα δεδομένα (data-driven), και στη σύγχρονη εποχή, με την τεράστια αύξηση των δημοσίων, ελεύθερων σε πρόσβαση βάσεων δεδομένων, οι οποίες περιέχουν χιλιάδες ιατρικών εικόνων (πχ. NIH, DeepLesion, CheXpert

κ.α.) για υποστήριξη και ανάπτυξη αλγορίθμων, είναι βέβαιο ότι η TN μεταμορφώνει και ενισχύει κατά πολύ την υποβοηθούμενη διάγνωση (Fujita, 2020<sup>25</sup>).

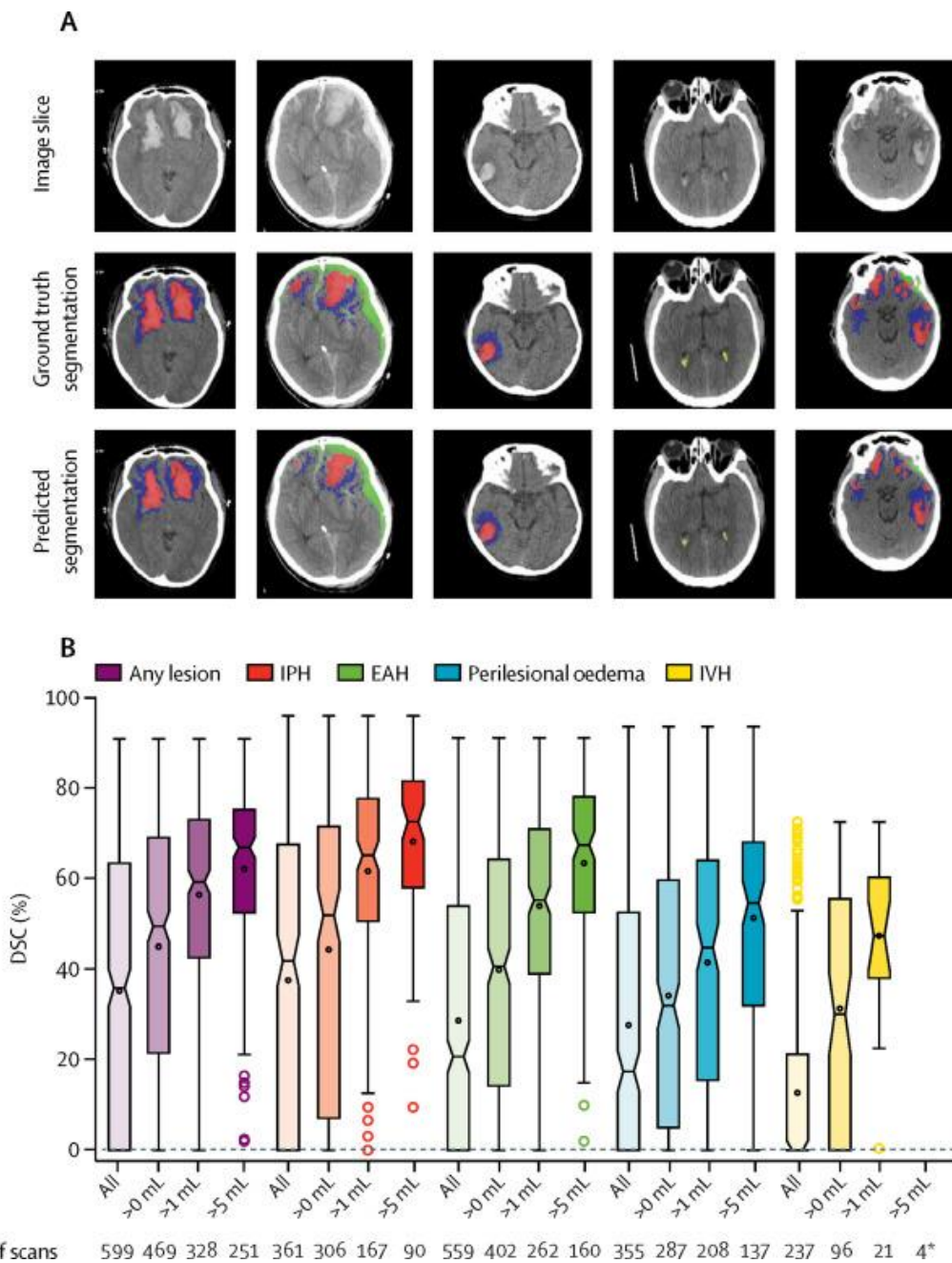
### 3.3. Κατάτμηση εικόνων

Μια άλλη πολύ σημαντική εργασία η οποία επιτυγχάνεται με την βοήθεια της TN στην ιατρική απεικόνιση είναι η κατάτμηση των εικόνων (image segmentation). Κατάτμηση της εικόνας καλείται η διαδικασία η οποία χωρίζει την εικόνα σε πολλά επί μέρους και συναφή τμήματα, σε συνάρτηση με τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά τους, και η περαιτέρω ταξινόμηση αυτών σε ήδη καθορισμένες κλάσεις (Seo et al., 2020<sup>72</sup>). Η κατάτμηση εικόνων έχει βρει πολύ μεγάλες εφαρμογές στην ιατρική ακριβείας, καθώς μπορεί να παρέχει πολλές πληροφορίες από διαφορετικούς τομείς της απεικόνισης, όπως από εικόνες υπολογιστικής τομογραφίας (computed tomography/CT), μαγνητικό συντονισμό (magnetic resonance imaging/MRI) κ.α.

Η κατάτμηση εικόνων, όπως και η Μηχανική Μάθηση γενικότερα, μπορεί να επιτευχθεί με δυο τεχνικές: την επιτηρούμενη και τη μη επιτηρούμενη. Στην επιτηρούμενη κατάτμηση εικόνας, η οποία είναι και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη στην ιατρική απεικόνιση, το σύστημα ενσωματώνει γνώση η οποία παρέχεται από εκπαιδευτικά δείγματα δεδομένων, με τα «δάση τυχαίας απόφασης» (random forests), τους κ-πλησιέστερους γείτονες (k-nearest neighbors) και τα SVM να αποτελούν τις πιο διαδεδομένες τεχνικές. Ωστόσο, η σχετική αδυναμία αυτών των τεχνικών σε περιπτώσεις ασαφών ορίων των ανατομικών οργάνων, οδήγησε στην υιοθέτηση των CNN, τα οποία έχουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα (Seo et al., 2020<sup>72</sup>). Συγκεκριμένα, το U-Net είναι το πιο χρησιμοποιούμενο μοντέλο επιτηρούμενης κατάτμησης στην ιατρική απεικόνιση, δίνοντας εξαιρετικά αποτελέσματα (Royer et al., 2021<sup>67</sup>).



Προκειμένου να πάρουμε μια βαθύτερη ιδέα του κατά πόσο πολύπλοκη μπορεί να γίνει η διαδικασία του segmentation μιας ιατρικής εικόνας, η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 10) απεικονίζει τη δυνατότητα κατάτμησης διαφόρων τραυματικών βλαβών του εγκεφάλου σε πολλές κλάσεις ταυτόχρονα.



Εικόνα 10. Κατάτμηση τραυματικών βλαβών εγκεφάλου σε πολλαπλές κλάσεις<sup>53</sup>.



### 3.4. Βελτιστοποίηση εικόνας

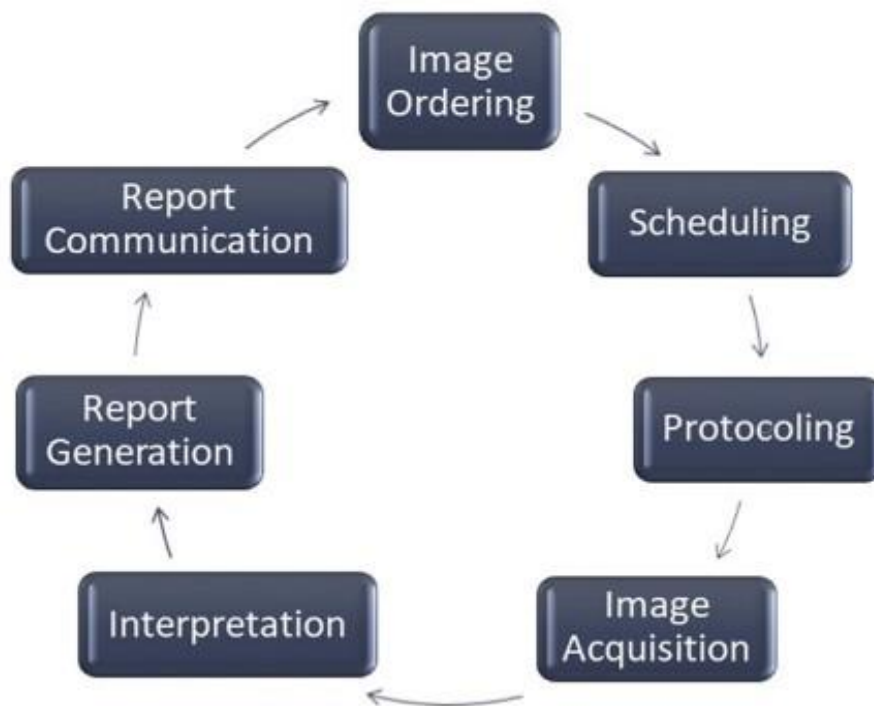
Η ΤΝ έχει συμβάλλει τα μέγιστα και στον τομέα της βελτιστοποίησης της ιατρικής εικόνας (image optimisation), έχοντας μια ποικιλία εφαρμογών και τεχνικών για το σκοπό αυτό. Μια πολύ χρήσιμη εφαρμογή της ΤΝ στην βελτιστοποίηση της εικόνας αφορά την μείωση του θορύβου στην εικόνα (noise reduction). Εκπαιδύοντας ένα CNN να «μάθει» τις ιδιότητες των κατανομών θορύβου σε μια εικόνα, (που σχετίζονται με την συγκεκριμένη απεικονιστική τεχνική) είναι πλέον δυνατό να πετύχουμε αισθητή μείωση του θορύβου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η χρήση ενός πολυεπίπεδου CNN σε συνδυασμό με παραμετρική συνάρτηση ενεργοποίησης ανορθωτή (Rectified Linear Unit/RELU) μετά από κάθε επίπεδο, για την επίτευξη μείωσης του θορύβου σε εικόνες CT οι οποίες αποκτήθηκαν με μειωμένη διαφορά δυναμικού (kilovoltage) (Wang et al., 2019<sup>86</sup>). Αντίστοιχα, ειδικά ανεπτυγμένοι αλγόριθμοι ΤΝ χρησιμοποιούνται ήδη στην ιατρική απεικόνιση για την μείωση των ψευδενδείξεων λόγω κίνησης (motion artefacts) του εξεταζόμενου.

Η ΤΝ και συγκεκριμένα η Βαθιά Μάθηση έχουν βρει εξαιρετικές εφαρμογές στην ανακατασκευή των ιατρικών εικόνων (image reconstruction-IR), βελτιώνοντας την ποιότητα εικόνας, και μειώνοντας τον απαιτούμενο για αυτή την εργασία χρόνο. Τα πολυεπίπεδα CNN χρησιμοποιούνται και εδώ, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ανακατασκευής εικόνας (AI-based reconstruction), ως μια επέκταση των ήδη γνωστών μεθόδων ανακατασκευής. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η χρήση CNN στην MRI το οποίο υπερτερεί της ανακατασκευής με τη μέθοδο compressed sensing (CS) και το οποίο επίσης βελτιώνει τα προβλήματα που προκύπτουν στην MRI εξαιτίας υπο-δειγματοληψίας του κ-χώρου (Lin et al., 2020<sup>46</sup>). Οι μέθοδοι αυτές έχουν επίσης εφαρμοστεί ήδη με επιτυχία και στην τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (positron emission tomography-PET) αλλά και στην υβριδική απεικόνιση (hybrid imaging) PET/MRI (Zaharchuk and Davidzon, 2021<sup>95</sup>).

Γενικότερα, η ανακατασκευή εικόνας βασισμένη σε αλγορίθμους TN έχει επιφέρει μεγάλες βελτιώσεις στην ιατρική απεικόνιση, βελτιώνοντας κατά πολύ την ποιότητα της εικόνας και μειώνοντας τους απαιτούμενους χρόνους.

### 3.5. Αυτοματοποίηση της ροής εργασιών

Η «αλυσίδα» της ροής εργασιών (workflow) σε ένα τμήμα ιατρικής απεικόνισης είναι πολυσύνθετη και απαιτητική, καθώς περιλαμβάνει όλα τα στάδια από την παραγγελία της απεικονιστικής εξέτασης έως και την ορθή επιλογή απεικονιστικού πρωτοκόλλου, την ερμηνεία της εικόνας, τον ποιοτικό έλεγχο, την διάγνωση κλπ (Εικόνα 11). Η TN συνεισφέρει πάρα πολλά σε όλα τα τμήματα αυτής της αλυσίδας, στην γενικότερη αυτοματοποίηση δηλαδή της ροής εργασιών μέσα σε ένα τμήμα.



Εικόνα 11. Η αλυσίδα της ροής εργασιών σε ένα τμήμα ιατρικής απεικόνιση<sup>35</sup>.

Ξεκινώντας από την ορθή επιλογή της εξέτασης για τον κάθε ασθενή, η TN έχει πλέον πολύ χρήσιμα εργαλεία υποστήριξης κλινικών αποφάσεων (clinical decision support/CDS) τα οποία σε συνεργασία με τους ηλεκτρονικούς φακέλους των ασθενών είναι ικανά να

υποδείξουν την κατάλληλη εξέταση με βάση το ιατρικό ιστορικό, αλλά και να υποδείξει τους ασθενείς υψηλού κινδύνου οι οποίοι χρειάζονται να υποβληθούν σε screening. Επίσης, τα εργαλεία αυτά προτείνουν ποιοι ασθενείς και πότε χρειάζονται μια απεικονιστική εξέταση χρησιμοποιώντας τη Διεθνή Ταξινόμηση Νοσημάτων (International Classification of Diseases-ICD), με αποτέλεσμα να μειώνονται οι μη αναγκαίες απεικονιστικές εξετάσεις (Karoor, Lacson and Khorasani, 2020<sup>35</sup>).

Συνεχίζοντας στην απεικονιστική αλυσίδα, η TN μπορεί πλέον με ασφάλεια να προβλέπει τους εκτιμώμενους χρόνους αναμονής για κάθε ασθενή στο τμήμα απεικονίσεων, τις πιθανές καθυστερήσεις στα ραντεβού, να προβλέψει ποιοι ασθενείς δε θα εμφανιστούν (patient 'no-shows'), αλλά και να βελτιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος προγραμματισμού των εξετάσεων. Ακόμα, αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποιημένη επιλογή απεικονιστικού πρωτοκόλλου μέσα από δημογραφικά στοιχεία και ανάλυση μη δομημένου κειμένου παραπομπής σε εξέταση. Τέλος, οι αλγόριθμοι αυτοί βοηθούν πολύ στην ορθή και ταχεία διάγνωση, δρώντας ως υποβοηθούμενη διάγνωση, αλλά πολλές φορές και σαν εργαλεία διαλογής (triage) σε συγκεκριμένες και οξείες παθολογικές καταστάσεις (Karoor, Lacson and Khorasani, 2020<sup>35</sup>). Όλα αυτά τα εργαλεία TN είναι άμεσα συνδεδεμένα με το σύστημα αρχειοθέτησης του τμήματος (picture archiving and communication system/PACS), ενώ ο ιατρός έχει πάντα τις επιλογές «accept», «reject», «rework» ανάλογα με την προσωπική του κρίση (Blezek et al., 2021<sup>11</sup>).

### 3.6. Μείωση λαμβανόμενης δόσης

Όπως είναι γνωστό, προτεραιότητα είναι πάντοτε η ασφάλεια του ασθενούς, και με αυτό το σκεπτικό, είναι κρίσιμο να προσπαθούμε πάντοτε να βελτιστοποιήσουμε την λαμβανόμενη

από τον ασθενή δόση ακτινοβολίας. Η TN ήδη βοηθάει πολύ σε αυτό τον σημαντικό τομέα με διάφορους τρόπους.

Πρώτον, είναι γνωστό ότι η έκκεντρη τοποθέτηση του εξεταζόμενου στην εξεταστική τράπεζα του αξονικού τομογράφου έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη δόση ακτινοβολίας λόγω της γεωμετρίας των φίλτρων (bow-tie filters) αλλά και των ιδιοτεροτήτων των συστημάτων αυτόματης έκθεσης (automatic exposure control-AEC). Αλγόριθμοι Βαθιάς Μάθησης ήδη αναλαμβάνουν την ορθή τοποθέτηση, με τρισδιάστατες κάμερες πάνω από την τράπεζα και ειδικά ανατομικά οδηγία σημεία τα οποία ελέγχουν την τοποθέτηση και αυτομάτως μετακινούν την τράπεζα ώστε ο εξεταζόμενος να βρίσκεται στο ισόκεντρο. Αποτέλεσμα είναι η μείωση των σοβαρών σφαλμάτων τοποθέτησης από το 40-50% στο 0% με ταυτόχρονη μείωση της λαμβανόμενης δόσης ακτινοβολίας (McCollough and Leng, 2020<sup>51</sup>). Τέλος, οι αλγόριθμοι Βαθιάς Μάθησης συνεισφέρουν πλέον σε μια πολύ πιο αποτελεσματική ανακατασκευή των εικόνων όπως ειπώθηκε και παραπάνω, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση δόσης στον εξεταζόμενο (Seah et al., 2021<sup>69</sup>).

#### Κεφάλαιο 4: Ηθικά ζητήματα και Τεχνητή Νοημοσύνη

Παρά το γεγονός ότι η έλευση της TN έχει επιφέρει μια πολύ μεγάλου βαθμού αυτοματοποίηση των εργασιών σε ένα τμήμα απεικονίσεων, δε θα πρέπει ποτέ να ξεχνάμε ότι βασικό μας μέλημα είναι ο άνθρωπος, ο εξεταζόμενος/ ασθενής μας. Σύμφωνα με τον ορισμό της ηθικής από τους Beauchamp και Childress, θα πρέπει πάντοτε να ενεργούμε με βάση την αρχή της ευεργεσίας (beneficence) του ασθενούς, και κυρίως να μη προκαλούμε ποτέ κακό σε σωματικό ή ψυχικό επίπεδο στον ασθενή (Stogiannos, 2019<sup>77</sup>). Η ευρεία χρήση της TN στην ιατρική απεικόνιση ενέχει τον κίνδυνο της δημιουργίας σφαλμάτων τα οποία έχουν σοβαρές επιπτώσεις, αλλά και τον συστηματικό κίνδυνο πρόκλησης βλαβών (Geis et al., 2019<sup>26</sup>). Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψιν, γίνεται αντιληπτό ότι ο TAA

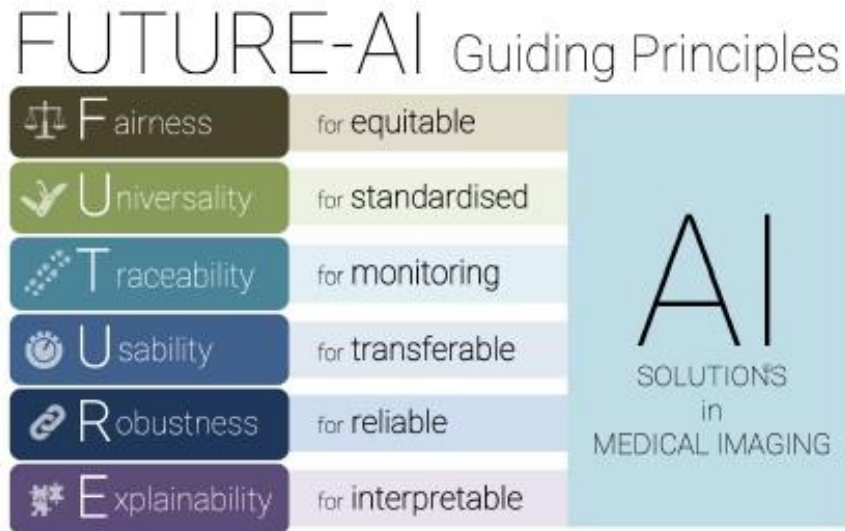
καλείται εκτός των τεχνικών και παραμέτρων κάθε απεικονιστικού ή θεραπευτικού πρωτοκόλλου, να αντιμετωπίσει τις όποιες ηθικές προκλήσεις προκύπτουν στην νέα εποχή της ΤΝ.

#### 4.1. Διαχείριση προσωπικών δεδομένων

Στην εποχή της ΤΝ και του μεγάλου όγκου δεδομένων πραγματοποιείται καθημερινά, διαχείριση και ανταλλαγή τεραστίου όγκου ιατρικών (κλινικών και απεικονιστικών) δεδομένων από τα τμήματα ιατρικών απεικονίσεων. Η ηθική που πρέπει να διέπει την ορθή διαχείριση των δεδομένων είναι θεμελιώδης για την ιατρική απεικόνιση, και αντανακλά την εμπιστοσύνη στο να αποκτήσουμε, να διαχειριστούμε, αλλά και να επεξεργαστούμε τα δεδομένα αυτά.

Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να συλλέγονται με σκοπό την εξυπηρέτηση του εξεταζόμενου/ασθενούς αλλά και την γενικότερη προαγωγή του κοινού συμφέροντος. Κύριοι πυλώνες αυτής της ηθικής πρέπει να είναι η συγκατάθεση του ασθενούς, η ιδιωτικότητα, η προστασία των δεδομένων και η διαφάνεια στις διαδικασίες (Geis et al., 2019<sup>26</sup>). Απαραίτητο βήμα προς την ηθική διαχείριση των δεδομένων κρίνεται επίσης η πιστή εφαρμογή της κείμενης νομοθεσίας σχετικά με τη διαχείριση ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων (General Data Protection Regulation/GDPR). Δεδομένα τα οποία έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ώστε να μη μπορεί να αναγνωρισθεί ο κάτοχος τους (anonymization) δεν υπόκεινται σε αυτό το νόμο. Είναι πολύ σημαντικό επίσης να γνωρίζουμε ότι σε περίπτωση που απαιτείται πρόσβαση σε προσωπικά δεδομένα στα πλαίσια ενός ερευνητικού πρωτοκόλλου, είναι απαραίτητο να ζητηθεί έγγραφη συγκατάθεση των εξεταζόμενων/ασθενών,(ή/και του οικογενειακού περιβάλλοντος αυτών) αφού πρώτα έχουμε λάβει έγκριση από την αρμόδια επιτροπή ηθικής της έρευνας. Είναι πολύ σημαντικό για τον κάθε ΤΑΑ ο οποίος έχει πρόσβαση σε τέτοια δεδομένα, να γνωρίζει

και να θυμάται ότι αυτά είναι και παραμένουν πάντοτε τα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα των ασθενών και ανήκουν σε εκείνους.



Εικόνα 12. Οι αρχές FUTURE-AI οι οποίες προτείνονται για ηθική, ασφαλή, και έμπιστη χρήση της TN στην ιατρική απεικόνιση (Lekadir et al., 2021<sup>42</sup>).

Το παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 12) απεικονίζει τις θεμελιώδεις αρχές «FUTURE-AI» οι οποίες προτάθηκαν πρόσφατα για την ασφαλή, ηθική, και έμπιστη ενσωμάτωση της TN στην ιατρική απεικόνιση (Lekadir et al., 2021<sup>42</sup>). Οι έννοιες της δικαιοσύνης, της καθολικότητας, της ιχνηλασιμότητας, της χρηστικότητας, της ευρωστίας και της επεξηγηματικότητας θεωρούνται θεμελιώδεις και έχουν επιβεβαιωθεί από μερικά μεγάλα ερευνητικά προγράμματα σχετικά με TN και ιατρική απεικόνιση, όπως το AI4HI Network, στο οποίο περιλαμβάνονται οι πολύ μεγάλες μελέτες EuCanImage, PRIMAGE, CHAIMELEON, INCISIVE και ProCancer-I.

#### 4.2. Νομοθεσία και Τεχνητή Νοημοσύνη

Για να μπορέσει ο TAA να ενσωματώσει τις εφαρμογές της TN στην κλινική πράξη και να τις χρησιμοποιεί με ορθό και ηθικό τρόπο, είναι αναγκαίο να γνωρίζει πλήρως την νομοθεσία που ορίζει το πλαίσιο εφαρμογής και αξιοποίησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Το

ρυθμιστικό πλαίσιο (regulatory framework) το οποίο διέπει την TN στην ιατρική απεικόνιση συνεχώς εμπλουτίζεται και ανανεώνεται, για αυτό το λόγο είναι καθήκον του TAA να ενημερώνεται συνεχώς για τις όποιες εξελίξεις. Τελευταία, έχει προκύψει μεγάλη συζήτηση γύρω από το ρυθμιστικό πλαίσιο το οποίο πρέπει να διέπει τα λογισμικά TN που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση ως ιατρικές συσκευές (Software as Medical Device/SaMD). Τα SaMD ορίζονται ως λογισμικά τα οποία χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς και τα οποία αν και δεν αποτελούν μέρος κάποιου μηχανήματος (hardware device), εξυπηρετούν τους σκοπούς της διάγνωσης, πρόληψης, παρακολούθησης, και θεραπείας των ασθενειών (*Larson et al., 2021<sup>41</sup>*). Το Διεθνές Φόρουμ Ρυθμιστών Ιατρικών Συσκευών (International Medical Device Regulators Forum/IMDRF) έχει προτείνει για τις συσκευές αυτές να υπόκεινται σε μια διαδικασία αξιολόγησης της κλινικής τους αποτελεσματικότητας, η οποία περιλαμβάνει τρία στάδια, στα οποία θα αξιολογείται τόσο η αξιοπιστία του αλγορίθμου στο να παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα, όσο και η κλινική του αξία. Έτσι, στο πρώτο στάδιο πρέπει να διασφαλίζεται ότι υπάρχει μια κλινική διασύνδεση μεταξύ του αποτελέσματος και της κλινικής κατάστασης, βασισμένη στον αλγόριθμο ο οποίος έχει επιλεγεί. Στο δεύτερο στάδιο, πρέπει να διασφαλίζεται ότι ο αλγόριθμος επεξεργάζεται ορθά τα δεδομένα, ώστε να παράγει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ στο τελικό στάδιο πρέπει να διασφαλίζεται ότι χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα αυτά επιτυγχάνεται ο σκοπός μας για την συγκεκριμένο πληθυσμό και τη συγκεκριμένη κλινική κατάσταση. Αντίστοιχα, η Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Directive 93/42/EEC) απαιτεί από όλους τους κατασκευαστές να εξασφαλίζουν ότι οι συσκευές τους εξυπηρετούν απόλυτα τον σκοπό για τον οποίο προορίζονται, και επιπλέον ταξινομεί τις συσκευές αυτές σε κατηγορίες ανάλογες του ενδεχόμενου ρίσκου (*Pesapane et al., 2018<sup>61</sup>*). Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 1) περιγράφει τις τέσσερις κατηγορίες στις οποίες έχει

ταξινομήσει το IMDRF τις ιατρικές συσκευές, ξεκινώντας από την κλάση I η οποία έχει τη μικρότερη επίπτωση στον ασθενή ή στη δημόσια Υγεία, και φθάνοντας στην κλάση IV η οποία έχει και τις μεγαλύτερες επιπτώσεις.

<b>Πίνακας 1. Ταξινόμηση των SaMD από το IMDRF</b>			
<b>Κατάσταση υγείας</b>	Σπουδαιότητα των πληροφοριών οι οποίες παρέχονται από το SaMD για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την Υγεία		
	<b>Θεραπεία / Διάγνωση</b>	<b>Καθοδήγηση Κλινικής Διαχείρισης</b>	<b>Ενημέρωση Κλινικής Διαχείρισης</b>
Κρίσιμη	IV	III	II
Σοβαρή	III	II	I
Μη σοβαρή	II	I	I

Τέλος, κάθε τέτοια συσκευή πρέπει να έχει πιστοποιηθεί με τη σήμανση CE (Conformité Européenne/CE) για την Ευρωπαϊκή ένωση και UKCA (United Kingdom Conformity Assessed) για το Ηνωμένο Βασίλειο αντίστοιχα, ως ελάχιστη απόδειξη ότι η συσκευή είναι ασφαλής και αποδίδει αυτά για τα οποία σχεδιάστηκε, ενώ συσκευές TN οι οποίες στοχεύουν στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας και όχι στην λήψη κλινικών αποφάσεων θα πρέπει να συμμορφώνονται με το πιστοποιητικό του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης



(International Organization of Standardization/ISO) ISO 82304-1 το οποίο αφορά τα λογισμικά στην Υγεία (NHS, 2020<sup>57</sup>).

Το νομοθετικό και ρυθμιστικό πλαίσιο το οποίο διέπει τις εφαρμογές της ΤΝ στην κλινική πράξη σε ένα τμήμα ιατρικών απεικονίσεων είναι ήδη αρκετά πολύπλοκο και αναμένεται να γίνει πιο αυστηρό και καθολικό στα επόμενα έτη. Είναι λοιπόν ευθύνη αλλά και καθήκον του ΤΑΑ ο οποίος θα ασχολείται καθημερινά με αυτές τις τεχνολογίες να είναι γνώστης της νομοθεσίας και των απαιτήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο και να προσπαθεί πάντοτε να χειρίζεται αυτά τα συστήματα σύμφωνα με τους νόμους.

#### 4.3. Σφάλματα συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης

Πρέπει να γίνει απολύτως κατανοητό ότι τα συστήματα ΤΝ μπορούν να υποπέσουν σε σφάλματα, είτε εξαιτίας βλάβης ή δυσλειτουργίας του συστήματος, είτε ανεπαρκούς/λανθασμένης εκπαίδευσης των αλγορίθμων. Προκειμένου να αναπτυχθεί εμπιστοσύνη μεταξύ ΤΝ και εξεταζομένων/ασθενών/επαγγελματιών υγείας, είναι απαραίτητο να υπάρχει διαφάνεια σχετικά με την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Συνεπώς, ένα σύστημα ΤΝ θα πρέπει να είναι διαφανές και κατανοητό σε εξωτερικούς παρατηρητές, και είναι ευθύνη των ανθρώπων να είναι σε θέση να πουν για ποιο λόγο και πώς απέτυχε ένα σύστημα ΤΝ όταν αυτό συμβεί (Geis et al., 2019<sup>26</sup>).

Γίνεται αντιληπτό πως ο ΤΑΑ, ο οποίος χειρίζεται αυτές τις τεχνολογίες και καλείτε να τροποποιήσει τα απεικονιστικά πρωτόκολλα ανάλογα με τις ανάγκες/απαιτήσεις του κάθε περιστατικού, θα πρέπει να έχει τις κατάλληλες γνώσεις ώστε να μπορεί ανά πάσα στιγμή να ελέγχει την ορθή λειτουργία και απόδοση των συστημάτων ΤΝ και να παρεμβαίνει όταν διαπιστώσει μια δυσλειτουργία. Άλλωστε, έχει ήδη αποδειχθεί ότι κάθε σύστημα ΤΝ το οποίο εγκαθίσταται στην κλινική πράξη χρειάζεται την ανθρώπινη επίβλεψη (Malamateniou

*et al., 2021<sup>49</sup>*). Αυτό προσθέτει ευθύνες στον σύγχρονο ΤΑΑ, και πρέπει να συμβεί μέσα από την ενεργό συμμετοχή του στην έρευνα και καινοτομία. Έτσι, θα είναι σε θέση να εκτιμάει ορθά τις αποφάσεις που λαμβάνει ένα σύστημα ΤΝ, καθώς είναι εκείνος ο επαγγελματίας ο οποίος βρίσκεται ανάμεσα στην τεχνολογία και τον ασθενή, να ενημερώνει ορθά τον ασθενή, και να συμβάλλει έτσι στην ασφαλή και αποτελεσματική φροντίδα του αλλά και στη δημιουργία εμπιστοσύνης και διαφάνειας γύρω από την ευρεία χρήση της ΤΝ στην ιατρική απεικόνιση (*Malamateniou et al, 2021<sup>50</sup>*).

#### 4.4. Ανθρώπινος παράγοντας

Οι ΤΑΑ είναι εκείνοι οι επαγγελματίες Υγείας οι οποίοι εργάζονται καθημερινά με εξεταζόμενους/ασθενείς, τις οικογένειές τους, αλλά και άλλους επαγγελματίες Υγείας, με σκοπό την παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών οι οποίες σχετίζονται με τη διάγνωση, θεραπεία ή την παρακολούθηση ασθενειών, την παροχή υπηρεσιών σε ανθρώπους στο τέλος της ζωής τους (end of life care), την ανακουφιστική παροχή υπηρεσιών (palliative care), αλλά και την πολύτιμη συνεισφορά τους στον τομέα της ιατροδικαστικής (forensic radiography). Εύκολα γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι ο ρόλος του ΤΑΑ απαιτεί μια πολυδιάστατη μορφή γνώσης και ικανοτήτων, καθώς και την ικανότητα να εμπυχώνει τους άλλους στο μονοπάτι της κοινής λήψης αποφάσεων (*Rainey et al., 2021<sup>63</sup>*).

Ενώ λοιπόν η ΤΝ βρίσκεται σε πλήρη άνθιση και ενσωμάτωση στην κλινική πράξη του ΤΑΑ, θα πρέπει πάντοτε να θυμόμαστε ότι η συναισθηματική νοημοσύνη, σε αντίθεση με την τεχνητή, θα πρέπει να βρίσκεται πάντοτε στην καρδιά της φροντίδας του ασθενούς, και αυτό μπορεί να το επιτύχει μόνο ο ΤΑΑ (*Lewis, Gandomkar and Brennan, 2019<sup>43</sup>*). Για το λόγο αυτό, έχει ήδη προταθεί η περαιτέρω έρευνα με αντικείμενο τις επιπτώσεις της ΤΝ στην ανθρωποκεντρική φροντίδα του ασθενούς, αλλά επίσης επισημαίνεται και ο κεντρικός ρόλος του ΤΑΑ σε αυτήν.

Είναι γνωστό ότι η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ ΤΑΑ και ασθενών είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή μιας πραγματικά ανθρωποκεντρικής φροντίδας (Stogiannos *et al.*, 2022<sup>78</sup>). Με αυτό το σκεπτικό, καθίσταται σαφές ότι η ΤΝ δε μπορεί ποτέ να αντικαταστήσει τον ανθρώπινο παράγοντα της σχέσης μεταξύ ΤΑΑ και ασθενούς, ούτε να «ενδιαφερθεί» για εκείνον με τον τρόπο με τον οποίο το κάνει ο ΤΑΑ.

Το επάγγελμα του ΤΑΑ πρέπει να παραμείνει ανθρωποκεντρικό και ο ρόλος του ΤΑΑ σε αυτόν τον τομέα αναμένεται να αυξηθεί με την πάροδο των ετών και την περαιτέρω αυτοματοποίηση των απεικονιστικών διαδικασιών, αφού τα συστήματα ΤΝ δεν είναι ικανά να παρέχουν την φροντίδα και την καθυσύχαση με τον τρόπο που το κάνει ο άνθρωπος (Hardy and Harvey, 2020<sup>30</sup>). Ο σύγχρονος ΤΑΑ όχι μόνο δεν πρέπει να επαναπαυθεί εξαιτίας της αυτοματοποίησης την οποία προσφέρει η ΤΝ, αλλά θα πρέπει να την εκμεταλλευτεί με σκοπό το όφελος του ασθενούς. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαίο για τον ΤΑΑ να εκμεταλλευτεί τον κερδισμένο χρόνο στη ροή εργασιών προκειμένου να επικεντρωθεί στην ολόενα και πιο βαθιά, ειλικρινή, και αποτελεσματική φροντίδα του ασθενούς, με γνώμονα την ανθρωποκεντρική προσέγγιση και με κύριο συστατικό αυτής την ενσυναίσθηση.

## Κεφάλαιο 5: Ο ρόλος του Τεχνολόγου Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας

Η έλευση και η πολύ μεγάλη ανάπτυξη της ΤΝ στον τομέα της Υγείας και της ιατρικής απεικόνισης σίγουρα δε μπορούν να αφήσουν τον Τεχνολόγο Ακτινολογίας-Ακτινοθεραπείας (ΤΑΑ) αμέτοχο, καθώς η τεχνολογία αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την καθημερινή κλινική πράξη του ΤΑΑ, επιφέρει μεγάλες αλλαγές σε όλους τους τομείς εργασίας του, και δημιουργεί νέες ανάγκες και συνθήκες για την εκπαίδευσή του.

### 5.1. Απαραίτητες και εξειδικευμένες γνώσεις

Ένα από τα πρώτα θέματα που προέκυψαν όταν η TN άρχισε να εγκαθίσταται στην κλινική πράξη του TAA ήταν ο φόβος απέναντι στην νέα αυτή τεχνολογία. Ο σκεπτικισμός, λόγω της εισαγωγής της TN στη κλινική πράξη, ο οποίος συχνά εκφράζεται ως φόβος οδήγησε πολλούς επαγγελματίες TAA, να αναρωτιούνται μήπως η TN τελικά αντικαταστήσει τον TAA. Φυσικά, κάτι τέτοιο είναι εντελώς αβάσιμο (Murphy and Liszewski, 2019<sup>54</sup>). Ωστόσο, όπως έχει σωστά ειπωθεί, οι TAA οι οποίοι έχουν γνώσεις TN θα αντικαταστήσουν στο μέλλον τους TAA οι οποίοι δεν κατέχουν αυτή την τεχνολογία (Malamateniou, 2021<sup>48</sup>).

Η τεχνολογία αυτή θα επιφέρει μια υψηλού βαθμού αυτοματοποίηση στη ροή εργασιών σε ένα τμήμα ιατρικών απεικονίσεων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση και ανάγκη για ιατρική απεικόνιση αναμένεται να οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση του φόρτου εργασίας των TAA. Συνεπώς, οι αυριανοί TAA οφείλουν να είναι πιο ευέλικτοι μέσα σε ένα τμήμα, και να έχουν γνώσεις σε πολλά και διαφορετικά πεδία, καθώς οι πολύ συγκεκριμένες θέσεις εργασίας (πχ. μόνο MRI) αναμένεται να καταργηθούν, αφού η TN θα αλλάξει τις απαιτήσεις σε προσωπικό (Hardy and Harvey, 2020<sup>30</sup>). Οι αυριανοί TAA λοιπόν οφείλουν να έχουν ένα συγκεκριμένο «κατώφλι» γνώσεων ώστε να διασφαλίζεται μια επαρκής ευελιξία στο τμήμα.

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι η μέχρι τώρα βιβλιογραφία αναδεικνύει αφ' ενός, μια γενικότερη έλλειψη γνώσεων γύρω από την TN ανάμεσα στους επαγγελματίες Υγείας, και αφετέρου το ενδιαφέρον των TAA να ασχοληθούν με την τεχνολογία αυτή (Rainey et al., 2021<sup>63</sup>). Οι TAA καλούνται να αποκτήσουν σημαντικές γνώσεις σχετικά με τις τεχνολογίες της TN, ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν με επάρκεια και συνέπεια στα καθήκοντα τους. Σε αυτό το ραγδαία αυξανόμενο τοπίο της TN, η απόκτηση γνώσεων σχετικά με την TN αλλά και η αλλαγή εκπαιδευτικής και επαγγελματικής <<κουλτούρας>> δεν είναι πλέον

επιλογή για τον αυριανό TAA, αλλά αναγκαιότητα. Για αυτό το λόγο εξάλλου, μεγάλα Εθνικά Συστήματα Υγείας όπως το National Health Service (NHS) του Ηνωμένου Βασιλείου καλούν τα νοσοκομεία τους για ανάπτυξη και καλλιέργεια εκτεταμένου μαθησιακού περιβάλλοντος και υποστήριξη των εργαζομένων στην εκμάθηση των ψηφιακών συστημάτων υγείας (NHS, 2019<sup>58</sup>).

Οι TAA οφείλουν λοιπόν πλέον να έχουν σημαντικές γνώσεις στην επιστήμη υπολογιστών (computer science), καθώς είναι πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της κλινικής μας πράξης, εκτεταμένες γνώσεις πληροφορικής της Υγείας, αλλά και γνώσεις γύρω από τα δεδομένα (data science) και την ανάλυση αυτών. Επίσης, οι TAA πρέπει να γνωρίζουν οπωσδήποτε τις βασικές έννοιες, τις ορολογίες, αλλά και τις διαδικασίες γύρω από την ανάπτυξη και την επικύρωση (validation) των αλγορίθμων ΤΝ (*Malamateniou et al., 2021<sup>50</sup>*). Τέλος, πλέον δημιουργούνται κάποιες αυξημένες ανάγκες για γνώσεις μαθηματικών και στατιστικής, καθώς οι αλγόριθμοι ΤΝ και τα συστήματα αυτά βασίζονται σε μαθηματικούς υπολογισμούς για την επίτευξη των στόχων τους. Με την προσέγγιση αυτή, ο TAA θα λάβει όλες εκείνες τις σημαντικές γνώσεις οι οποίες θα του επιτρέψουν να παρέχει ένα ασφαλές και αποτελεσματικό ψηφιακό περιβάλλον Υγείας στους ασθενείς.

Τέλος, στις περιπτώσεις όπου οι TAA ενός τμήματος ιατρικής απεικονίσης έχουν ενεργό ρόλο στην επιλογή και αγορά συστημάτων ΤΝ για το τμήμα τους, είναι απαραίτητο να έχουν πολύ καλή γνώση των λειτουργιών και εφαρμογών του κάθε συστήματος, ώστε να διασφαλίσουν ότι α) κάνουν αβίαστη επιλογή, και β) ότι επιλέγουν το κατάλληλο σύστημα για την κατάλληλη εργασία/σκοπό, γνωρίζοντας επίσης όλους τους πιθανούς περιορισμούς (*Rainey et al., 2021<sup>63</sup>*).

## 5.2. Ανάγκη για τροποποίηση των προγραμμάτων σπουδών

Δεδομένων των αλλαγών στις ανάγκες γνώσεων του ΤΑΑ τις οποίες επέφερε η έλευση της ΤΝ όπως συζητήθηκε και πιο πάνω, δημιουργήθηκε αναπόφευκτα και η ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στα προγράμματα σπουδών των ΤΑΑ, προκειμένου να μπορέσουν να ανταποκριθούν πλήρως στα καθήκοντα της νέας, ψηφιακής εποχής.

Όπως έχει πολύ σωστά τονιστεί, όλα τα Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα τα οποία προσφέρουν σήμερα προγράμματα σπουδών για ΤΑΑ, θα πρέπει πλέον να αλλάξουν τα προγράμματα αυτά, ώστε να περιλαμβάνουν πλέον γνώσεις σχετικά με τις εφαρμογές της ΤΝ στην ιατρική απεικόνιση, ορολογίες και δομή της ΤΝ, χρήσιμες γνώσεις γύρω από τον έλεγχο των συστημάτων ΤΝ, γνώση του νομικού και κανονιστικού πλαισίου γύρω από τη ΤΝ, τεχνικές ένταξης της ΤΝ στην κλινική πράξη, αλλά και προσωποκεντρική φροντίδα (person-centred care) και ηθική στη νέα αυτή εποχή (Malamateniou et al, 2021<sup>49</sup>). Είναι βεβαίως αυτονόητο ότι οι γνώσεις αυτές θα πρέπει να ενσωματωθούν τόσο σε προπτυχιακό όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο.

Σε αυτό το ολοένα μεταβαλλόμενο τοπίο της ΤΝ στην ιατρική απεικόνιση, πολλά εκπαιδευτικά ιδρύματα του εξωτερικού επέδειξαν γρήγορα αντανακλαστικά. Έτσι, πλέον πολλά ιδρύματα έχουν εντάξει τις βασικές αρχές της ΤΝ στο προπτυχιακό επίπεδο υπό τη μορφή διαλέξεων, ενώ παράλληλα έχουν ήδη ξεκινήσει να προσφέρονται κάποια προγράμματα με θέμα την ΤΝ σε μεταπτυχιακό επίπεδο (Malamateniou et al., 2021<sup>50</sup>). Ακόμα, ενδιαφέρον έχει αρχίσει να εκδηλώνεται και σε επίπεδο διδακτορικών σπουδών, με αρκετούς ήδη ΤΑΑ να βρίσκονται εν μέσω αυτής της διαδικασίας. Στη χώρα μας, η ΤΝ έχει ενταχθεί ήδη ως μάθημα στο νεοσύστατο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία (European Federation of Radiographic Societies/EFRS) «τρέχει» ήδη ένα πρόγραμμα για τις

αρμοδιότητες του TAA στην TN, ενώ πολλά πλέον συνέδρια προσφέρουν συνεδρίες με θέμα την TN οι οποίες δίνουν μονάδες συνεχιζόμενης εκπαίδευσης (continuous professional development/CPD).

Συμπερασματικά, οι εξελίξεις στον τομέα των εφαρμογών και της πλήρους ένταξης της TN στην κλινική πράξη του TAA είναι μια δυναμική, ταχέως μεταβαλλόμενη κατάσταση, την οποία ο κλάδος μας «τρέχει» να προλάβει σε επίπεδο εκπαίδευσης. Ήδη η TN έχει ενταχθεί στα προγράμματα σπουδών σε πολλά ιδρύματα και χώρες, και η περαιτέρω ανάπτυξη αυτού του γνωστικού αντικειμένου είναι δεδομένη και αναμενόμενη. Οι ακαδημαϊκοί πρέπει να έχουν εξαιρετική γνώση της TN, ώστε να μπορέσουν να προετοιμάσουν τους TAA για μια εποχή στην οποία η TN θα είναι συνάδελφος και όχι εχθρός τους, και να τους παρέχουν όλες τις απαραίτητες γνώσεις για να εμπλακούν αποτελεσματικά στη λήψη αποφάσεων (Lewis, Gandomkar and Brennan, 2019<sup>43</sup>).

### 5.3. Συμμετοχή στη λήψη αποφάσεων

Στο πλαίσιο της εξατομικευμένης ιατρικής έχει δημιουργηθεί μεγάλο ενδιαφέρον στην μεταμόρφωση των ιατρικών εικόνων σε εξορύξιμα δεδομένα ή στοιχεία ραδιομικής ανάλυσης (radiomics) με σκοπό την βελτίωση της λήψης αποφάσεων στην κλινική πράξη. Ο TAA χρειάζεται να έχει πλήρη γνώση των διαδικασιών οι οποίες απαιτούνται για την εξόρυξη δεδομένων και πολύ καλή γνώση των radiomics, καθώς η ανάλυση τους αναμένεται να είναι ρουτίνα στην κλινική πράξη (Lewis, Gandomkar and Brennan, 2019<sup>43</sup>). Επίσης, τα περισσότερα εργαλεία TN τα οποία έχουν υιοθετηθεί σήμερα στην κλινική πράξη ανήκουν στις κλάσεις I και IIa, είναι δηλαδή εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων, και έτσι οι TAA θα κληθούν να ελέγχουν τις αποφάσεις αυτές και να μετέχουν στην λήψη της απόφασης (Malamateniou et al., 2021<sup>49</sup>). Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι TAA οι οποίοι θα έχουν τις γνώσεις αυτές, θα μπορούν να ηγηθούν των διαδικασιών αυτών και να

συμμετέχουν ενεργά στην λήψη κλινικών αποφάσεων. Η βιομηχανία θα πρέπει να στηρίξει τους ΤΑΑ αναγνωρίζοντας όλους εκείνους τους επαγγελματίες οι οποίοι εμπλέκονται στο κλινικό μονοπάτι του ασθενούς, ενώ οι ίδιοι οι ασθενείς θα πρέπει να έχουν κεντρικό ρόλο υποδεικνύοντας τις κλινικές ανάγκες (*Malamateniou et al., 2021<sup>50</sup>*).

#### 5.4. Συμμετοχή στην έρευνα

Αναμφισβήτητα οι τεράστιες καινοτομίες της ΤΝ στην ιατρική απεικόνιση δημιουργούν ένα πολύ μεγάλο πεδίο για έρευνα, και είναι χαρακτηριστικό ότι από το 2000 και μετά παρατηρείται μια εκθετική αύξηση των επιστημονικών δημοσιεύσεων σχετικά με την ιατρική απεικόνιση και την ΤΝ (*West et al., 2019<sup>89</sup>*). Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι ενώ υπάρχει μια άνθιση των δημοσιεύσεων σχετικά με το ρόλο του ιατρού ακτινοδιαγνώστη, τις γνώσεις του κλπ., η βιβλιογραφία σχετικά με τον ΤΑΑ είναι σχετικά περιορισμένη (*Rainey et al., 2021<sup>63</sup>*). Αυτό σίγουρα αντικατοπτρίζει και την σχετικά μικρή ερευνητική κοινότητα αποτελούμενη από ΤΑΑ.

Ερευνητικά έργα αποτελούμενα από ΤΑΑ, εξ ολοκλήρου ή μερικώς, υπάρχουν ήδη σε εξέλιξη σε διάφορα στάδια, ωστόσο πρέπει οι ΤΑΑ να νιώσουν την αυτοπεποίθηση και τη θέληση να ασχοληθούν ενεργά με την έρευνα γύρω από την ΤΝ, ώστε να μπορέσουν να βελτιστοποιήσουν την παροχή των υπηρεσιών τους, την ασφάλεια του ασθενούς και τη φροντίδα αυτού. Η διεπιστημονική (multidisciplinary) έρευνα υπό το πνεύμα της συνεργασίας είναι ζωτικής σημασίας για την ενσωμάτωση της ΤΝ στην Υγεία (*Malamateniou et al., 2021<sup>49</sup>*). Στη χώρα μας, έχουν αρχίσει να γίνονται ήδη κάποια δειλά αλλά σταθερά βήματα στον τομέα αυτό, με συνεργασίες ερευνητικών ομάδων με ερευνητές του εξωτερικού, αλλά και με κάποιες πολύ ωραίες εγχώριες ερευνητικές πρωτοβουλίες σχετικά με την ΤΝ.



Η επιστημονική έρευνα αποτελεί τον θεμέλιο λίθο της επιστημονικής αλλά και επαγγελματικής μας εξέλιξης, και οι καινοτομίες της TN επιτάσσουν μια γρήγορη και ενεργή συμμετοχή του κλάδου μας στην έρευνα. Αυτός είναι ο μόνος τρόπος βελτίωσης όλων των πτυχών που επιδέχονται αλλαγών και εξέλιξης, της βελτιστοποίησης της κλινικής πράξης του ΤΑΑ, αλλά και της εγκαθίδρυσης του ως σημαντικού επιστημονικού προσωπικού με ενεργό ρόλο στις εξελίξεις της TN.

### Λίστα Βιβλιογραφίας

1. Aggarwal, C.C. (2018) *Neural Networks and Deep Learning. A Textbook*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>
2. Albelwi, S., Mahmood, A. (2017), 'A Framework for Designing the Architectures of Deep Convolutional Neural Networks', *Entropy* 19 (6). <https://doi.org/10.3390/e19060242>
3. Amisha, Malik, P., Pathania, M., Rathaur, V.K. (2019), 'Overview of artificial intelligence in medicine', *Journal of Family Medicine and Primary Care* 8 (7), pp. 2328-2331. <https://dx.doi.org/10.4103%2Fjfmprc.jfmprc.440.19>
4. Aoki, T., Kamiya, T., Lu, H., Terasawa, T., Ueno, M., Hayashida, Y., Murakami, S., Korogi, Y. (2021), 'CT temporal subtraction: techniques and clinical applications', *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery* 11 (6), pp. 2214-2223. <https://dx.doi.org/10.21037%2Fqims-20-1367>
5. Arinez, J.F., Chang, Q., Gao, R.X., Xu, C., Zhang, J. (2020), 'Artificial Intelligence in Advanced Manufacturing: Current Status and Future Outlook', *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 142 (11). <https://doi.org/10.1115/1.4047855>

6. Avanzo, M., Porzio, M., Lorenzon, L., Milan, L., Sghedoni, R., Russo, G., et al (2021), 'Artificial intelligence applications in medical imaging: A review of the medical physics research in Italy', *Physica Medica* 83, pp. 221-241.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.04.010>
7. Ayodele, T.O. (2010), 'Types of Machine Learning Algorithms', in Zhang, Y. (ed) *New Advances in Machine Learning*. Rijeka: IntechOpen, pp. 19-48.
8. Barragan-Montero, A., Javaid, U., Valdes, G., Nguyen, D., Desbordes, P., Macq, B., et al (2021), 'Artificial intelligence and machine learning for medical imaging: A technology review', *Physica Medica* 83, pp. 242-256.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.04.016>
9. Bashiri, A., Ghazisaeedi, M., Safdari, R., Shahmoradi, L., Ehtesham, H. (2017), 'Improving the Prediction of Survival in Cancer Patients by Using Machine Learning Techniques: Experience of Gene Expression Data: A Narrative Review', *Iranian Journal of Public Health* 46 (2), pp. 165-172.
10. Bertolaccini, L., Solli, P., Pardolesi, A., Pasini, A. (2017), 'An overview of the use of artificial neural networks in lung cancer research', *Journal of Thoracic Disease* 9 (4), pp. 924-931. <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.03.157>
11. Blezek, D.J., Olson-Williams, L., Missert, A., Korfiatis, P. (2021), 'AI Integration in the Clinical Workflow', *Journal of Digital Imaging* 34, pp. 1435-1446.  
<https://doi.org/10.1007/s10278-021-00525-3>
12. Bougias, H., Georgiadou, E., Malamateniou, C., Stogiannos, N. (2021), 'Identifying cardiomegaly in chest X-rays: a cross-sectional study of evaluation and comparison between different transfer learning methods', *Acta Radiologica* 62 (12), pp. 1601-1609. <https://doi.org/10.1177/0284185120973630>

13. Chan, S., Reddy, V., Myers, B., Thibodeaux, Q., Brownstone, N., Liao, W. (2020), 'Machine Learning in Dermatology: Current Applications, Opportunities, and Limitations', *Dermatology and Therapy* 10, pp. 365-386.  
<https://doi.org/10.1007/s13555-020-00372-0>
14. Chassagnon, G., Vakalopoulou, M., Paragios, N., Revel, M.P. (2020), 'Deep learning: definition and perspectives for thoracic imaging', *European Radiology* 30, pp. 2021-2030. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06564-3>
15. Chen, M., Decary, M. (2019), 'Artificial intelligence in healthcare: An essential guide for health leaders', *Healthcare Management Forum* 33 (1), pp. 10-18.  
<https://doi.org/10.1177%2F0840470419873123>
16. Collins, F.S., Fink, L. (1995), 'The Human Genome Project', *Alcohol Health and Research World* 19 (3), pp. 190-195.
17. Coppin, B. (2004) *Artificial Intelligence Illuminated*. United States of America: Jones & Bartlett Publishers, Inc.
18. Dagi, T.F., Barker, F.G., Glass, J. (2021), 'Machine Learning and Artificial Intelligence in Neurosurgery: Status, Prospects, and Challenges', *Neurosurgery* 89 (2), pp. 133-142.  
<https://doi.org/10.1093/neuros/nyab170>
19. Delipetrev, B., Tsinaraki, C., Kostic, U. (2020) 'Historical Evolution of Artificial Intelligence. Technical Report', *Publications Office of the European Union*. Διαθέσιμο στο: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC120469>  
[ημερομηνία προσπέλασης: 31/03/2022].
20. Denoeux, T., Dubois, D., Prade, H. (2020), 'Representations of Uncertainty in Artificial Intelligence: Probability and Possibility', in Marquis, P., Papini, O., Prade, H. (eds.) *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research Volume I: Knowledge Representation*,

*Reasoning and Learning*. Switzerland: Springer Nature, pp. 69-117.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-06164-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06164-7_3)

21. Enshaei, A., Robson, C.N., Edmondson, R.J. (2015), 'Artificial Intelligence Systems as Prognostic and Predictive Tools in Ovarian Cancer', *Gynecologic Oncology* 22, pp. 3970-3975. <https://doi.org/10.1245/s10434-015-4475-6>
22. Erickson, B.J., Korfiatis, P., Akkus, Z., Kline, T.L. (2017), 'Machine Learning for Medical Imaging', *RadioGraphics* 37 (2), pp. 505-515. <https://doi.org/10.1148/rg.2017160130>
23. Fazal, M.I., Patel, M.E., Tye, J., Gupta, Y. (2018), 'The past, present and future role of artificial intelligence in imaging', *European Journal of Radiology* 105, pp. 246-250. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.06.020>
24. Fieschi, M. (2012), 'The Development of AI in Medicine and the Research Environment of the SPHINX Project at the Start of the 1980s', *IMIA Yearbook of Medical Informatics*, pp. 153-162.
25. Fujita, H. (2020), 'AI-based computer-aided diagnosis (AI-CAD): the latest review to read first', *Radiological Physics and Technology* 13 (1), pp. 6-19. <https://doi.org/10.1007/s12194-019-00552-4>
26. Geis, J.R., Brady, A.P., Wu, C.C., Spencer, J., Ranschaert, E., Jaremko, J.L., et al (2019), 'Ethics of Artificial Intelligence in Radiology: Summary of the Joint European and North American Multisociety Statement', *Radiology* 293, pp. 436-440. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019191586>
27. Giordano, C., Brennan, M., Mohamed, B., Rashidi, P., Modave, F., Tighe, P. (2021), 'Accessing Artificial Intelligence for Clinical Decision-Making', *Frontiers in Digital Health* 3. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.645232>

28. Grieco, L.A., Rizzo, A., Colucci, S., Sicari, S., Piro, G., Di Paola, D., Boggia, G. (2014), 'IoT-aided robotics applications: Technological implications, target domains and open issues', *Computer Communications* 54, pp. 32-47.  
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.07.013>
29. Gulli, A., Pal, S. (2017) *Deep Learning with Keras. Implementing deep learning models and neural networks with the power of Python*. Birmingham: Packt Publishing.
30. Hardy, M., Harvey, H. (2020), 'Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession', *British Journal of Radiology* 93 (1108).  
<https://doi.org/10.1259/bjr.20190840>
31. Harish, V., Morgado, F., Stern, A.D., Das, S. (2021), 'Artificial Intelligence and Clinical Decision Making: The New Nature of Medical Uncertainty', *Academic Medicine: journal of the Association of American Medical Colleges* 96 (1), pp. 31-36.  
<https://doi.org/10.1097/acm.0000000000003707>
32. Hiwarkar, T.A., Iyer, R.S. (2013), 'New Applications of Soft Computing, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic & Genetic Algorithm in Bioinformatics', *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* 2 (5), pp. 202-207.
33. Johnson, K.B., Wei, W.Q., Weeraratne, D., Frisse, M.E., Misulis, K., Rhee, K., Zhao, J., Snowdon, J.L. (2021), 'Precision Medicine, AI, and the Future of Personalized Health Care', *Clinical and Translational Science* 14 (1), pp. 86-93.  
<https://doi.org/10.1111%2Fcts.12884>
34. Joint Research Centre (2020), 'AI Watch. Historical Evolution of Artificial Intelligence. Analysis of the three main paradigm shifts in AI', *JRC Technical Reports*. Διαθέσιμο στο:

[https://eprints.ugd.edu.mk/28050/1/2.%20jrc120469\\_historical\\_evolution\\_of\\_ai-v1.1.pdf](https://eprints.ugd.edu.mk/28050/1/2.%20jrc120469_historical_evolution_of_ai-v1.1.pdf) [ημερομηνία προσπέλασης: 26/03/2022].

35. Kapoor, N., Lacson R., Khorasani, R. (2020), 'Workflow Applications of Artificial Intelligence in Radiology and an Overview of Available Tools', *Journal of the American College of Radiology* 17 (11), pp. 1363-1370.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacr.2020.08.016>
36. Kaul, V., Enslin, S., Gross, S.A. (2020), 'History of artificial intelligence in medicine', *Gastrointestinal Endoscopy* 92 (4), pp. 807-812.  
<https://doi.org/10.1016/j.gie.2020.06.040>
37. Klement, E.P., Slany, W. (1994), 'Fuzzy Logic in Artificial Intelligence', CD Technical Report 94/67. Διαθέσιμο στο:  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.50.107&rep=rep1&type=pdf> [ημερομηνία προσπέλασης: 08/04/2022].
38. Kline, R. (2011), 'Cybernetics, Automata Studies, and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence' *IEEE Annals of the History of Computing* 33 (4), pp. 5-16.  
<https://doi.org/10.1109/MAHC.2010.44>
39. Kulikowski, C.A. (2019), 'Beginnings of Artificial Intelligence in Medicine (AIM): Computational Artifice Assisting Scientific Inquiry and Clinical Art - with Reflections on Present AIM Challenges', *Yearbook of Medical Informatics* 28 (1), pp. 249-256.  
<https://doi.org/10.1055/s-0039-1677895>
40. Kumar, P.R., Manash, E.B. (2019), 'Deep learning: a branch of machine learning', *Journal of Physics: Conference Series* 1228. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1228/1/012045>

41. Larson, D.B., Harvey, H., Rubin, D.L., Irani, N., Tse, J.R., Langlotz, C.P. (2021), 'Regulatory Frameworks for Development and Evaluation of Artificial Intelligence–Based Diagnostic Imaging Algorithms: Summary and Recommendations', *Journal of the American College of Radiology* 18 (3 part A), pp. 413-424. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2020.09.060>
42. Lekadir, K., Osuala, R., Gallin ,C., Lazrak, N., Kushibar, K., Tsakou, G., et al (2021), 'FUTURE-AI: Guiding Principles and Consensus Recommendations for Trustworthy Artificial Intelligence in Medical Imaging'. Pre-print. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.09658>
43. Lewis, S.J., Gandomkar, Z., Brennan, P.C. (2019), 'Artificial Intelligence in medical imaging practice: looking to the future', *Journal of Medical Radiation Sciences* 66 (4), pp. 292-295. <https://doi.org/10.1002/jmrs.369>
44. Liddy, E.D. (2001), 'Natural Language Processing' in Drake, M.A. (ed) *Encyclopedia of Library and Information Science*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, pp. 2126-2136.
45. Lin, B., Wu, S. (2022), 'Digital Transformation in Personalized Medicine with Artificial Intelligence and the Internet of Medical Things', *OMICS: A Journal of Integrative Biology* 26 (2), pp. 77-81. <https://doi.org/10.1089/omi.2021.0037>
46. Lin, D.J., Johnson, P.M., Knoll, F., Lui, Y.W. (2020), 'Artificial Intelligence for MR Image Reconstruction: An Overview for Clinicians', *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 53 (4), pp. 1015-1028. <https://doi.org/10.1002/jmri.27078>
47. Lynch, K.M., Park, F.C. (2017) *Modern Robotics: mechanics, planning, and control*. Cambridge: Cambridge University Press.
48. Malamateniou, C. (2021) 'Artificial Intelligence in the Hands of Medical Imaging and Radiation Therapy Professionals Part I: The Current Status of AI in Our Practice',

*Radiological Society of North America Annual Meeting*, Chicago, 28 November-2 December.

Διαθέσιμο

στο:

<https://twitter.com/CMalamateniou/status/1465412421342924807> [ημερομηνία

προσπέλασης: 13/04/2022].

49. Malamateniou, C., Knapp, K.M., Pergola, M., Woznitza, N., Hardy, M. (2021), 'Artificial intelligence in radiography: Where are we now and what does the future hold?', *Radiography* 27 (suppl 1), pp. 58-62.  
<https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.07.015>
50. Malamateniou, C., McFadden, S., McQuinlan, Y., England, A., Woznitza, N., Goldsworthy, S., et al (2021), 'Artificial Intelligence: Guidance for clinical imaging and therapeutic radiography professionals, a summary by the Society of Radiographers AI working group', *Radiography* 27 (4), pp. 1192-1202.  
<https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.07.028>
51. McCollough, C.H., Leng, S. (2020), 'Use of artificial intelligence in computed tomography dose optimisation', *Annals of the ICRP* 49 (1), pp. 113-125.  
<https://doi.org/10.1177%2F0146645320940827>
52. Mohri, M., Rostamizadeh, A., Talwalkar, A. (2018) *Foundations of Machine Learning*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: The MIT Press.
53. Monteiro, M., Newcombe VFJ., Mathieu, F., Adatia, K., Kamnitsas, K., Ferrante, E., et al. (2020), 'Multiclass semantic segmentation and quantification of traumatic brain injury lesions on head CT using deep learning: an algorithm development and multicentre validation study', *The Lancet* 2 (6), pp. 314-322.  
[https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30085-6](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30085-6)



54. Murdoch, W.J., Singh, C., Kumbier, K., Abbasi-Asl, R., Yu, B. (2019), 'Definitions, methods, and applications in interpretable machine learning', *PNAS* 116 (44), pp. 22071-22080. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900654116>
55. 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 suppl 2), pp. 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.09.001>
56. Murphy, R.R. (2019) *Introduction to AI Robotics*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: The MIT Press.
57. Nandhakumar, N., Aggarwal, J.K. (1985), 'The artificial intelligence approach to pattern recognition—a perspective and an overview', *Pattern Recognition* 18 (6), pp. 383-389. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(85\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0031-3203(85)90009-3)
58. National Health Service X (2020), 'A buyer's guide to AI in health and care'. Διαθέσιμο στο: <https://www.nhsx.nhs.uk/ai-lab/explore-all-resources/adopt-ai/a-buyers-guide-to-ai-in-health-and-care/a-buyers-guide-to-ai-in-health-and-care/> [ημερομηνία προσπέλασης: 14/04/2022].
59. National Health Service (2019), 'The Topol Review. Preparing the healthcare workforce to deliver the digital future'. Διαθέσιμο στο: <https://topol.hee.nhs.uk/wp-content/uploads/HEE-Topol-Review-2019.pdf> [ημερομηνία προσπέλασης: 13/04/2022].
60. Negnevitsky, M. (2005) *Artificial Intelligence. A Guide to Intelligent Systems*. 2nd ed. Essex: Pearson Education Limited.
61. Park, W.J., Park, J.B. (2018), 'History and application of artificial neural networks in dentistry', *European Journal of Dentistry* 12 (4), pp. 594-601. <https://doi.org/10.4103/ejd.ejd 325 18>

62. Pesapane, F., Volonte, C., Codari, M., Sardanelli, F. (2018), 'Artificial intelligence as a medical device in radiology: ethical and regulatory issues in Europe and the United States', *Insights Into Imaging* 9 (5), pp. 745-753. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0645-y>
63. Pfeifer, R., Lida, F. (2004), 'Embodied Artificial Intelligence: Trends and Challenges' in Lida, F., Pfeifer, R., Steels, L., Kuniyoshi, Y. (eds) *Embodied Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin: Springer, pp. 1-26. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-27833-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27833-7_1)
64. Rainey, C., O'Regan, T., Matthew, J., Skelton, E., Woznitza, N., Chu, K.Y., et al (2021), 'Beauty Is in the AI of the Beholder: Are We Ready for the Clinical Integration of Artificial Intelligence in Radiography? An Exploratory Analysis of Perceived AI Knowledge, Skills, Confidence, and Education Perspectives of UK Radiographers', *Frontiers in Digital Health* 3. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.739327>
65. Raj, E.F.I., Balaji, M. (2022), 'Application of Deep Learning and Machine Learning in Pattern Recognition' in Kumar, N., Shahnaz, C., Kumar, K., Mohammed, M.A., Raw, R.S. (eds) *Advance Concepts of Image Processing and Pattern Recognition. Effective Solution for Global Challenges*. Singapore: Springer Nature, pp. 63-89.
66. Raj, M., Seaman, R. (2019), 'Primer on artificial intelligence and robotics', *Journal of Organization Design* 8 (11). <https://doi.org/10.1186/s41469-019-0050-0>
67. 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. <https://doi.org/10.1177/2374289519873088>

68. Royer, C., Sublime, J., Rossant, F., Paques, M. (2021), 'Unsupervised Approaches for the Segmentation of Dry ARMD Lesions in Eye Fundus cSLO Images', *Journal of Imaging* 7 (8), 143. <https://doi.org/10.3390/jimaging7080143>
69. Schork, N.J. (2019), 'Artificial Intelligence and Personalized Medicine', *Cancer Treatment and Research* 178, pp. 265-283. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16391-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16391-4_11)
70. Seah, J., Brady, Z., Ewert, K., Law, M. (2021), 'Artificial intelligence in medical imaging: implications for patient radiation safety', *British Journal of Radiology* 94 (1126). <https://doi.org/10.1259/bjr.20210406>
71. Secinaro, S., Calandra, D., Secinaro, A., Muthurangu, V., Biancone, P. (2021), 'The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review', *BMC Medical Informatics and Decision Making* 21, 125. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01488-9>
72. Sejnowski, T.J. (2020), 'The unreasonable effectiveness of deep learning in artificial intelligence', *PNAS* 117 (48), pp. 30033-30038. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907373117>
73. Seo, H., Khuzani, M.B., Vasudevan, V., Huang, C., Ren, H., Xiao, R., Jia, X., Xing, L. (2020), 'Machine learning techniques for biomedical image segmentation: An overview of technical aspects and introduction to state-of-art applications', *Medical Physics* 47 (5), pp. 148-167. <https://doi.org/10.1002/mp.13649>
74. Sethunya, R.J., Hlomani, H., Keletso, L., Freeson, K., Kutlwano, S. (2016), 'Natural Language Processing: A Review', *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences* 6 (3), pp. 207-210.

75. Shin, H.C., Roth, H.R., Gao, M., Lu, L., Xu, Z., Nogues, I., Yao, J., Mollura, D., Summers, R.M. (2016), 'Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning', *IEEE Transactions on Medical Imaging* 35 (5), pp. 1285-1298. <https://doi.org/10.1109/tmi.2016.2528162>
76. Shiraishi, J., Li, Q., Appelbaum, D., Doi, K. (2011), 'Computer-aided diagnosis and artificial intelligence in clinical imaging', *Seminars in Nuclear Medicine* 41 (6), pp. 449-462. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2011.06.004>
77. Shortliffe, E.H., Davis, R., Axline, S.G., Buchanan, B.G., Green, C.C., Cohen, S.N. (1975), 'Computer-based consultations in clinical therapeutics: explanation and rule acquisition capabilities of the MYCIN system', *Computers and biomedical research* 8 (4), pp. 303-320.
78. Stogiannos N. (2019), 'The Effect of Ethics on Professional Practice for MR Technologists', *Radiologic Technology* 90 (5), pp. 513-516.
79. Stogiannos, N., Carlier, S., Harvey-Lloyd, J.M., Brammer, A., Nugent, B., Cleaver, K., McNulty, J.P., Reis, C.S., Malamateniou, C. (2022), 'A systematic review of person-centred adjustments to facilitate magnetic resonance imaging for autistic patients without the use of sedation or anaesthesia', *Autism* 26 (4), pp. 782-797. <https://doi.org/10.1177%2F13623613211065542>
80. Sunarti, S., Rahman, F.F., Naufal, M., Risky, M., Febriyanto, K., Masnina, R. (2021), 'Artificial intelligence in healthcare: opportunities and risk for future', *Gaceta Sanitaria* 35 (1), pp. 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.12.019>

81. Surya, L. (2015), 'An Exploratory Study of AI and Big Data, and It's Future in the United States', *International Journal of Creative Research Thoughts* 3 (2), pp. 991-995.
82. Tan, C.F., Wahidin, L.S., Khalil, S.N., Tamaldin, N., Hu, J., Rauterberg, G.W.M. (2016), 'The application of expert system: a review of research and applications', *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences* 11 (4), pp. 2448-2453.
83. Theodoridis, S., Koutroumbas, K. (2006) *Pattern Recognition*. 3<sup>rd</sup> ed. San Diego: Elsevier.
84. Trebeschi, S., Bodalal, Z., van Dijk, N., Boellaard, T.N., Apfaltrer, P., Tareco Bucho, T.M., Nguyen-Kim, T.D.L., van der Heijden, M.S., Aerts, H., Beets-Tan, R.G. (2021), 'Development of a Prognostic AI-Monitor for Metastatic Urothelial Cancer Patients Receiving Immunotherapy', *Frontiers in Oncology* 11. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.637804>
85. Turing, A.M. (1950), 'Computing Machinery and Intelligence', *Mind* 59 (236), pp. 433-460.
86. Yamashita, R., Nishio, M., Do, R.K.G., Togashi, K. (2018), 'Convolutional neural networks: an overview and application in radiology', *Insights Into Imaging* 9, pp. 611-629. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0639-9>
87. Wang, Y., Yu, M., Wang, M., Wang, Y., Kong, L., Yi, Y., Wang, M., Li, Y., Jin, Z. (2019), 'Application of Artificial Intelligence-based Image Optimization for Computed Tomography Angiography of the Aorta With Low Tube Voltage and Reduced Contrast Medium Volume', *Journal of Thoracic Imaging* 34 (6), pp. 393-399. <https://doi.org/10.1097/rti.0000000000000438>

88. Warwick, K. (2014), 'Can machines think? A report on Turing test experiments at the Royal Society', *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence* 28 (6), pp. 989-1007. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2015.1055826>
89. Weizenbaum, J. (1966), 'ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine', *Communications of the ACM* 9 (1), pp. 36-45. <https://doi.org/10.1145/365153.365168>
90. West, E., Mutasa, S., Zhu, Z., Ha, R. (2019), 'Global Trend in Artificial Intelligence–Based Publications in Radiology From 2000 to 2018', *American Journal of Roentgenology* 213 (6), pp. 1204-1206. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.21346>
91. Xu, K., Luxmoore, A.R., Jones, L.M., Deravi, F. (1998), 'Integration of neural networks and expert systems for microscopic wear particle analysis', *Knowledge-based systems* 11 (3-4), pp. 213-227. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(98\)00052-5](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(98)00052-5)
92. Zadeh, L.A. (1992), 'Knowledge representation in fuzzy logic' in Yager, R.R., Zadeh, L.A. (eds) *An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems*. New York: Springer Science + Business Media, pp. 1-26.
93. Zaharchuk, G., Davidzon, G. (2021), 'Artificial Intelligence for Optimization and Interpretation of PET/CT and PET/MR Images', *Seminars in Nuclear Medicine* 51 (2), pp. 134-142. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2020.10.001>
94. Zhu, W.W., Berndsen, A., Madsen, E.C., Tan, M., Stairs, I.H., Brazier, A., et al (2014), 'Searching for Pulsars using image pattern recognition', *The Astrophysical Journal* 781 (117). <https://doi.org/10.1088/0004-637X/781/2/117>
95. Zhuang, Y., Wu, F., Chen, C., Pan, Y. (2017), 'Challenges and opportunities: from big data to knowledge in AI 2.0', *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering* 18, pp. 3-14. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601883>

96. Zhuo, Z., Ma, Y., Mushtaq, A., Rajper, A.M.A., Shehab, M., Heybourne, A., Song, W., Ren, H., Tse, Z.T.H. (2021), 'Applications of Robotics, Artificial Intelligence, and Digital Technologies During COVID-19: A Review', *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. <https://doi.org/10.1017/dmp.2021.9>