ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ, ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ, ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φοιτήτρια: Αικατερίνη Κυπραίου, ΔΕ20622

Επιβλέπων: Δρ. Κωνσταντίνος Βασιλακάκης

© 2026

HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

SCHOOL OF MANAGEMENT AND ECONOMICS SCIENCE

DEPARTMENT OF MANAGMENENT SCIENCE AND TECHNOLOGY

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTHCARE: APPLICATION, CHALLENGES, IMPACTS

DIPLOMA THESIS

Student: Aikatetini Kypraiou A.M. DE20622

Supervisor: Dr Konstantinos Vasilakakis

©
2026

Υπεύθυνη Δήλωση *: Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ) αποτελεί μία από τις πιο ραγδαία αναπτυσσόμενες τεχνολογίες της σύγχρονης εποχής και έχει ήδη αρχίσει να μετασχηματίζει ουσιαστικά τον χώρο της υγείας. Οι εφαρμογές της είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την ανάλυση ιατρικών εικόνων (όπως ακτινογραφιών και μαγνητικών τομογραφιών), την υποστήριξη στη διάγνωση μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τη δημιουργία εξατομικευμένων θεραπευτικών πρωτοκόλλων, την πρόβλεψη εμφάνισης ασθενειών με βάση μεγάλα σύνολα δεδομένων (big data), καθώς και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης νοσοκομειακών πόρων και πληροφοριακών συστημάτων υγείας.

Παρόλο που τα οφέλη είναι σημαντικά, η ενσωμάτωση της ΤΝ στον ιατρικό χώρο δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις. Ζητήματα όπως η προστασία της ιδιωτικότητας των ασθενών, η διαφάνεια των αλγορίθμων, η ηθική χρήση των τεχνολογιών, καθώς και η ανάγκη συνεχούς επιμόρφωσης των επαγγελματιών υγείας αποτελούν βασικούς τομείς προβληματισμού. Επιπλέον, εγείρονται ερωτήματα σχετικά με τον ρόλο της ανθρώπινης κρίσης και ευθύνης σε ένα περιβάλλον όπου η τεχνολογία αναλαμβάνει όλο και περισσότερες λειτουργίες.

Παρά τις δυσκολίες, η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυναμική να καταστήσει τις υπηρεσίες υγείας πιο αποτελεσματικές, εξατομικευμένες και προσβάσιμες, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των ασθενών και ενισχύοντας την πρόληψη και την έγκαιρη αντιμετώπιση ασθενειών.

Λέξεις Κλειδιά : τεχνητή νοημοσύνη , εφαρμογές, οφέλη, προκλήσεις, επιδράσεις.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is one of the fastest growing technologies of our time and has already begun to fundamentally transform the healthcare sector. Its applications are diverse and include, among others, the analysis of medical images (such as X-rays and MRIs), support in diagnosis through machine learning algorithms, the creation of personalized treatment protocols, the prediction of disease occurrence based on large data sets (big data), as well as the optimization of the management of hospital resources and health information systems.

Although the benefits are significant, the integration of AI in the medical sector is not without challenges. Issues such as the protection of patient privacy, the transparency of algorithms, the ethical use of technologies, as well as the need for continuous training of healthcare professionals are key areas of concern. Furthermore, questions are raised about the role of human judgment and responsibility in an environment where technology is increasingly taking over more functions.

Despite the difficulties, artificial intelligence has the potential to make health services more efficient, personalized and accessible, improving the quality of life of patients and enhancing the prevention and early treatment of diseases.

Key Words : artificial intelligence, applications, benefits, challenges, impacts.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 9
Φυσική Νοημοσύνη 9
1.1 Εισαγωγή 9
1.2 Η Θεωρία των Πολλαπλών Τύπων Νοημοσύνης και η Ένταξη της Φυσικής Νοημοσύνης 9
1.3. Ορισμός και Θεμελιώδη Χαρακτηριστικά της Φυσικής Νοημοσύνης 10
1.4 Νευροβιολογική και Γνωστική Θεμελίωση 10
1.5 Εφαρμογές και Καλλιέργεια της Φυσικής Νοημοσύνης στην Εκπαίδευση 11
Παραδείγματα εκπαιδευτικών πρακτικών: 11
1.6 Κριτική και Προβληματισμοί 11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 13
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ 13
2.1 Ιστορική Αναδρομή της Τεχνητής Νοημοσύνης 14
2.1.1. Πρώτες ιδέες και φιλοσοφικές βάσεις (πριν το 1950) 14
2.1.2. Η γέννηση της τεχνητής νοημοσύνης (1950–1960) 14
2.1.3. Περίοδος ανάπτυξης και περιορισμών (1960–1980) 15
2.1.4. Αναβίωση μέσω νευρωνικών δικτύων και expert systems (1980–2000) 15
2.1.5. Η επανάσταση της βαθιάς μάθησης και η σύγχρονη εποχή (2000–σήμερα) 16
2.2 Ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) 18
2.2.1 Εισαγωγή στην έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης 18
2.2.2 Σύγχρονες προσεγγίσεις και κατηγορίες της ΤΝ 19
2.2.3 Η λειτουργική διάσταση της ΤΝ 19
2.2.4 Φιλοσοφικές και γνωσιακές προσεγγίσεις 20
2.2.5 Η Τεχνητή Νοημοσύνη ως τεχνολογικό και κοινωνικό φαινόμενο 20
2.3 Σύγκριση μεταξύ Φυσικής και Τεχνητής Νοημοσύνης 21
2.3.1 Η φύση και η προέλευση της νοημοσύνης 22
2.3.2. Μηχανισμοί μάθησης και κατανόησης 22
2.3.3. Δημιουργικότητα και συναισθηματική νοημοσύνη 23
2.3.4. Λήψη αποφάσεων, κρίση και ηθική διάσταση 23
2.3.5. Περιορισμοί και προοπτικές 24
2.3.6. Φιλοσοφικές και υπαρξιακές διαστάσεις 24
2.3.7. Προς μια νέα μορφή νοημοσύνης 25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 28

Ο Χώρος της Υγείας – Έννοια, Δομή και Σύγχρονες Προκλήσεις 28
3.1 Ιστορική αναδρομή του δημόσιου συστήματος υγείας 28
Δημόσια υγεία στην αρχαιότητα 28
3.2 Ιστορική αναδρομή του ιδιωτικού συστήματος υγείας 30
3.3 Εισαγωγή στο χώρο της υγείας 33
3.3.1 Η Έννοια και η Σημασία της Υγείας 33
3.3.2 Η Δομή του Τομέα Υγείας 34
3.3.3 Ο Ρόλος της Τεχνολογίας και της Καινοτομίας στην Υγεία 35
3.3.4 Σύγχρονες Προκλήσεις του Συστήματος Υγείας 36
3.3.5 Ο Ανθρώπινος Παράγοντας στην Υγεία 37
3.4 Σημαντικά ιστορικά γεγονότα και εξελίξεις που αναβάθμισαν τον χώρο της υγείας 38
3.4.1. Ανακάλυψη των εμβολίων (18ος–19ος αιώνας) 38
3.4.2. Θεμελίωση της μικροβιακής θεωρίας (19ος αιώνας) 39
3.4.3. Εισαγωγή της αναισθησίας και της αντισηψίας στη χειρουργική 40
3.4.4. Ανακάλυψη των αντιβιοτικών (20ός αιώνας) 41
3.4.5. Δημιουργία οργανωμένων συστημάτων υγείας και καθολικής κάλυψης 42
3.4.6. Ψηφιακή υγεία και τεχνολογικές καινοτομίες (21ος αιώνας) 43
Κεφάλαιο 4: 44
Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον Χώρο της Υγείας – Εφαρμογές 44
4.1 Εισαγωγή 44
4.2 Ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Υγεία 44
4.3 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Διαχείριση Νοσοκομείων 44
4.4 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Ιατρική διάγνωση και πρόγνωση ασθενειών 46
4.5 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Προσωποποιημένη και Προβλεπτική Ιατρική 48
4.6 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Ρομποτική Χειρουργική και Αυτοματοποιημένα Συστήματα Υποστήριξης 51
4.7 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Τηλεϊατρική, Εικονικοί Βοηθοί και Παρακολούθηση Ασθενών 53
4.8 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Φαρμακευτική Έρευνα και Ανάπτυξη Θεραπειών 55
Κεφάλαιο 5: 57
Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον Χώρο της Υγείας – Προκλήσεις 57
5.1 Ποιότητα, Διαθεσιμότητα και Μεροληψία Δεδομένων 57
5.2 Διαφάνεια, Ερμηνευσιμότητα και Εμπιστοσύνη 58
5.3 Ηθικές Διαστάσεις και Νομικές Προκλήσεις 58

5.4 Οικονομικοί, Τεχνολογικοί και Οργανωτικοί Περιορισμοί 59
5.5 Εκπαίδευση, Κουλτούρα και Αποδοχή από τους Επαγγελματίες Υγείας 59
Κεφάλαιο 6: 61
Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον Χώρο της Υγείας – Επιδράσεις 61
6.1 Επιδράσεις στην Κλινική Διάγνωση και Θεραπεία 61
6.2 Επιδράσεις στη Διαχείριση και Οργάνωση των Υπηρεσιών Υγείας 62
6.3 Επιδράσεις στην Ποιότητα και την Ασφάλεια της Φροντίδας 62
6.4 Επιδράσεις στο Ανθρώπινο Δυναμικό Υγείας 62
6.5 Κοινωνικές και Ηθικές Επιδράσεις 63
Σύγκριση Επιδράσεων και Προκλήσεων της Τεχνητής Νοημοσύνης στον Τομέα της Υγείας 64
Κεφάλαιο 7: 65
Μελέτες περίπτωσης 65
7.1 Μελέτη περίπτωσης: Διαχείριση Νοσοκομείων 65
7.2 Μελέτη περίπτωσης: Διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του μαστού 66
7.4 Μελέτη περίπτωσης: Διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του πνεύμονα 68
7.5 Μελέτη περίπτωσης: Ενσωμάτωση Τεχνητής Νοημοσύνης σε Ρομποτικά Χειρουργικά Συστήματα για την Ογκολογική Κλινική Πράξη 69
7.6 Μελέτη περίπτωσης: Τεχνητή Νοημοσύνη και Ρομποτική Χειρουργική - Καινοτομία και Κλινική Εφαρμογή 71
7.7 Μελέτη περίπτωσης: Τεχνητή Νοημοσύνη στην Τηλεϊατρική - Βελτιστοποίηση Απομακρυσμένης Παρακολούθησης Ασθενών 72
7.8 Μελέτη περίπτωσης: Εικονικοί Βοηθοί με Τεχνητή Νοημοσύνη για Υποστήριξη Ασθενών και Τηλεπαρακολούθηση. 74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 76
8.1 Συμπεράσματα 76
8.2 Προτάσεις 78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 80
Α. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ 80

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση και ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας κατέστη δυνατή χάρη στη στήριξη, την καθοδήγηση και την ενθάρρυνση πολλών ανθρώπων, στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές μου ευχαριστίες.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας μου, κύριο Βασιλακάκη Κωνσταντίνο, για την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση, τις ουσιαστικές παρατηρήσεις και τις χρήσιμες συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής. Η υπομονή, η κατανόηση και η διαρκής υποστήριξή του υπήρξαν καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Επιπλέον, επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές και διδάσκοντες του Τμήματος Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του ΕΛΜΕΠΑ, οι οποίοι συνέβαλαν ουσιαστικά στη διαμόρφωση των επιστημονικών μου γνώσεων και δεξιοτήτων κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Η συμβολή τους αποτέλεσε σημαντικό θεμέλιο για την ακαδημαϊκή και επαγγελματική μου εξέλιξη.

Θερμές ευχαριστίες αξίζουν επίσης στους συμφοιτητές και φίλους μου, για τη συνεχή ηθική υποστήριξη, την ανταλλαγή απόψεων και τις εποικοδομητικές συζητήσεις που συνέβαλαν ουσιαστικά στη συγγραφή και την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη μου στον σύζυγό μου Γιώργο και στα τέσσερα παιδιά μας, Μαριαλένα, Μιχάλη, Ζωή και Μάνο, για την αμέριστη αγάπη, την υπομονή και την πολύτιμη στήριξη που μου προσέφεραν σε κάθε στάδιο της ακαδημαϊκής μου πορείας. Η πίστη τους στις δυνατότητές μου αποτέλεσε πηγή έμπνευσης και δύναμης για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Σε όλους όσους συνέβαλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, εκφράζω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών έχει επιφέρει βαθιές και πολυεπίπεδες αλλαγές σε κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας, επηρεάζοντας καθοριστικά και τον χώρο της ιατρικής επιστήμης. Η πρόοδος στην πληροφορική, τη ρομποτική και την επεξεργασία δεδομένων έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε, μελετούμε και εφαρμόζουμε την ιατρική πρακτική (Topol, 2019). Στην καρδιά αυτής της επανάστασης βρίσκεται η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ), ένας δυναμικός και συνεχώς εξελισσόμενος κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών, που επικεντρώνεται στη δημιουργία «ευφυών» συστημάτων ικανών να μιμούνται γνωστικές λειτουργίες του ανθρώπινου νου, όπως η μάθηση, η κατανόηση, η ανάλυση και η λήψη αποφάσεων (Russell and Norvig, 2021).

Η τεχνητή νοημοσύνη δεν αποτελεί πλέον μια θεωρητική ή μελλοντική έννοια· έχει πλέον διεισδύσει ενεργά στην καθημερινή ιατρική πρακτική, μετασχηματίζοντας ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο παρέχονται οι υπηρεσίες υγείας (Esteva et al., 2019). Οι δυνατότητές της καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από την έγκαιρη ανίχνευση και πρόληψη νοσημάτων μέχρι την ακριβέστερη διάγνωση μέσω τεχνολογιών ιατρικής απεικόνισης, καθώς και την παροχή εξατομικευμένων και προσαρμοσμένων θεραπειών που λαμβάνουν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ασθενούς (Obermeyer and Emanuel, 2016). Με τον τρόπο αυτό, η ΤΝ συνεισφέρει καθοριστικά στη βελτίωση της ποιότητας, της αποδοτικότητας και της ταχύτητας των ιατρικών υπηρεσιών, καθιστώντας την υγειονομική περίθαλψη πιο αποτελεσματική και προσιτή.

Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης τεράστιων όγκων ιατρικών δεδομένων — όπως ιατρικοί φάκελοι, βιολογικές μετρήσεις, γονιδιωματικά δεδομένα και στατιστικά στοιχεία πληθυσμών — προσφέροντας πολύτιμα εργαλεία στους επαγγελματίες της υγείας (Jiang et al., 2017). Μέσω προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης (machine learning και deep learning), η ΤΝ συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένων και αντικειμενικών αποφάσεων, στη μείωση των ιατρικών σφαλμάτων και στην ενίσχυση της ερευνητικής διαδικασίας σε τομείς όπως η φαρμακολογία, η βιοϊατρική μηχανική και η επιδημιολογία (Yu, Beam and Kohane, 2018).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στο ιατρικό περιβάλλον δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις και κινδύνους. Ζητήματα όπως η προστασία των προσωπικών δεδομένων των ασθενών, η διαφάνεια και αξιοπιστία των αλγορίθμων, αλλά και οι ηθικές και νομικές προεκτάσεις της αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων στην υγεία, αναδεικνύουν την ανάγκη για προσεκτική και υπεύθυνη υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών (Amann et al., 2020). Η εξάρτηση από αλγοριθμικά μοντέλα εγείρει ερωτήματα σχετικά με την ευθύνη σε περίπτωση σφαλμάτων, την ισότητα πρόσβασης στην τεχνολογία και την πιθανή υποκατάσταση της ανθρώπινης κρίσης από μηχανικές διαδικασίες (Morley et al., 2020).

Σε αυτό το πλαίσιο, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για διεπιστημονική προσέγγιση, που θα συνδυάζει τη γνώση της πληροφορικής, της ιατρικής, της βιοηθικής και του δικαίου, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η αξιοποίηση της ΤΝ θα γίνεται με τρόπο ασφαλή, δίκαιο και προσανατολισμένο στο όφελος του ασθενούς και της κοινωνίας συνολικά.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να διερευνήσει διεξοδικά τις βασικές εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της υγείας, να αναλύσει τις προκλήσεις και τους περιορισμούς που προκύπτουν από την ευρεία υιοθέτησή της, και να εξετάσει τις πολυδιάστατες επιδράσεις της σε κοινωνικό, επιστημονικό και ηθικό επίπεδο. Μέσα από την παρούσα μελέτη επιχειρείται να αποτυπωθεί ο τρόπος με τον οποίο η τεχνητή νοημοσύνη μετασχηματίζει την ιατρική επιστήμη, προωθώντας την καινοτομία και την πρόοδο, αλλά ταυτόχρονα θέτοντας νέα ερωτήματα που αφορούν το μέλλον της ανθρώπινης φροντίδας και της ιατρικής πρακτικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Φυσική Νοημοσύνη

1.1 Εισαγωγή

Η έννοια της φυσικής νοημοσύνης (natural intelligence) εισήχθη από τον Howard Gardner το 1995 ως ο όγδοος τύπος νοημοσύνης στο πλαίσιο της θεωρίας των Πολλαπλών Τύπων Νοημοσύνης (Multiple Intelligences Theory). Η φυσική νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα αναγνώρισης, κατηγοριοποίησης και αλληλεπίδρασης με στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως φυτά, ζώα, πετρώματα και καιρικά φαινόμενα (Gardner, 1999). Αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό τύπο νοημοσύνης, καθώς σχετίζεται με την περιβαλλοντική ευαισθησία, την επιβίωση, τη βιώσιμη ανάπτυξη και την οικολογική συνείδηση. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν η θεωρητική θεμελίωση, τα κύρια χαρακτηριστικά, η νευροβιολογική βάση και οι εκπαιδευτικές εφαρμογές της φυσικής νοημοσύνης.

1.2 Η Θεωρία των Πολλαπλών Τύπων Νοημοσύνης και η Ένταξη της Φυσικής Νοημοσύνης

Η θεωρία των Πολλαπλών Τύπων Νοημοσύνης διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Gardner (1983), με στόχο να προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση στην παραδοσιακή, μονοδιάστατη θεώρηση της νοημοσύνης ως γενικής γνωστικής ικανότητας. Ο Gardner πρότεινε αρχικά επτά τύπους νοημοσύνης: λεκτική-γλωσσική, λογικομαθηματική, μουσική, σωματικο-κιναισθητική, διαπροσωπική, ενδοπροσωπική και οπτικοχωρική. Η φυσική νοημοσύνη προστέθηκε αργότερα, το 1995, ως απόκριση στην ανάγκη αναγνώρισης της ικανότητας του ανθρώπου να αντιλαμβάνεται και να κατανοεί τον φυσικό κόσμο (Gardner, 1999).

Η φυσική νοημοσύνη πληροί τα βασικά κριτήρια που θέτει ο Gardner για τον χαρακτηρισμό μιας ικανότητας ως «νοημοσύνης», όπως: (α) την ύπαρξη εξέχοντος εξελικτικού ρόλου, (β) τη δυνατότητα απομόνωσης σχετικών εγκεφαλικών περιοχών, (γ) την αναγνωρισιμότητα σε άτομα με εξαιρετικές επιδόσεις στον συγκεκριμένο τομέα και (δ) τη δυνατότητα εκπαιδευτικής ανάπτυξης (Gardner, 1993).

1.3. Ορισμός και Θεμελιώδη Χαρακτηριστικά της Φυσικής Νοημοσύνης

Η φυσική νοημοσύνη αφορά την ικανότητα του ατόμου να παρατηρεί, να αναγνωρίζει και να κατηγοριοποιεί στοιχεία του φυσικού κόσμου. Περιλαμβάνει τη δεξιότητα εντοπισμού μοτίβων στη φύση, την κατανόηση οικολογικών σχέσεων και τη διαχείριση γνώσεων σχετικών με το περιβάλλον (Iberdrola, 2023). Ειδικότερα, άτομα με ανεπτυγμένη φυσική νοημοσύνη:

- Αναγνωρίζουν και διαφοροποιούν φυτά, ζώα, πετρώματα, σύννεφα και άλλα φυσικά στοιχεία.
- Παρουσιάζουν έντονη περιέργεια και ενδιαφέρον για τη φύση και τα οικοσυστήματα.
- Διαθέτουν οικολογική ευαισθησία και ενσυναίσθηση προς το περιβάλλον.
- Αλληλεπιδρούν με τη φύση μέσω δραστηριοτήτων όπως πεζοπορία, παρατήρηση πουλιών, γεωργία, περιβαλλοντική έρευνα κ.ά.
- Επιδεικνύουν δεξιότητες συστηματοποίησης, καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων φυσικού περιεχομένου (Meyer, 1997).

1.4 Νευροβιολογική και Γνωστική Θεμελίωση

Αν και η θεωρία των Πολλαπλών Τύπων Νοημοσύνης έχει δεχθεί κριτική για την περιορισμένη νευροεπιστημονική τεκμηρίωση, υπάρχουν ευρήματα που ενισχύουν την ύπαρξη γνωστικών δομών που υποστηρίζουν τη φυσική νοημοσύνη. Ο Gardner (1999) υποστηρίζει ότι περιοχές του εγκεφάλου όπως ο ινιακός και ο βρεγματικός λοβός εμπλέκονται στην επεξεργασία φυσικών ερεθισμάτων, στην αναγνώριση μοτίβων και στη χωρική μνήμη.

Επιπλέον, η σύνδεση της φυσικής νοημοσύνης με συναισθηματικές καταστάσεις, όπως η ευγνωμοσύνη και η θαυμασμό προς τη φύση, υποδηλώνει εμπλοκή του λιμβικού συστήματος, κυρίως της αμυγδαλής και του ιππόκαμπου (Wilson, 2002). Παρότι δεν έχει εντοπιστεί ειδική εγκεφαλική δομή που να αποτελεί την «έδρα» της φυσικής νοημοσύνης, η διεπιστημονική έρευνα συνεχίζει να εξετάζει τις νευρωνικές βάσεις της.

1.5 Εφαρμογές και Καλλιέργεια της Φυσικής Νοημοσύνης στην Εκπαίδευση

Η φυσική νοημοσύνη μπορεί να καλλιεργηθεί συστηματικά μέσω βιωματικών και διαθεματικών δραστηριοτήτων που συνδέουν τους μαθητές με το φυσικό περιβάλλον. Η περιβαλλοντική εκπαίδευση και η εκπαίδευση για την αειφορία (Education for Sustainability) αποτελούν ιδανικά πλαίσια για την ανάπτυξή της (Sterling, 2001).

Παραδείγματα εκπαιδευτικών πρακτικών:

- Δημιουργία σχολικών κήπων και βοτανικών πάρκων.
- Εκπαιδευτικές εκδρομές σε οικολογικά πάρκα, δάση, λίμνες και γεωπάρκα.
- Παρατήρηση και καταγραφή φυσικών φαινομένων (καιρός, βιοποικιλότητα, εποχικές αλλαγές).
- Συμμετοχή σε περιβαλλοντικά προγράμματα, όπως ανακύκλωση, καθαρισμός περιοχών και προστασία απειλούμενων ειδών.
- Χρήση πολυμεσικών εργαλείων για την εικονική εξερεύνηση οικοσυστημάτων.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η εμπλοκή των μαθητών σε τέτοιες δράσεις αυξάνει την περιβαλλοντική τους ευαισθησία και ενισχύει τη διαθεματική μάθηση (Meyer, 1997). Επίσης, συμβάλλει στην ανάπτυξη κριτικής σκέψης, ομαδικότητας και προσωπικής ευθύνης.

1.6 Κριτική και Προβληματισμοί

Παρά τα οφέλη της θεωρίας των Πολλαπλών Τύπων Νοημοσύνης και της ένταξης της φυσικής νοημοσύνης στο εκπαιδευτικό πλαίσιο, η θεωρία έχει δεχθεί σημαντική κριτική από μελετητές της γνωστικής ψυχολογίας και της νευροεπιστήμης. Οι κυριότερες ενστάσεις αφορούν:

- Την έλλειψη εμπειρικής και πειραματικής τεκμηρίωσης.
- Τη δυσκολία διαφοροποίησης μεταξύ «νοημοσύνης» και «δεξιότητας» ή «ταλέντου».
- Την απουσία μεθοδολογικά αξιόπιστων εργαλείων αξιολόγησης των διαφόρων τύπων νοημοσύνης (Waterhouse, 2006).
- Τον κίνδυνο υπεραπλούστευσης και κακής χρήσης της θεωρίας στην εκπαιδευτική πρακτική.

Παρόλα αυτά, η φυσική νοημοσύνη παραμένει ένα χρήσιμο εννοιολογικό εργαλείο για την ενίσχυση της βιωματικής και διαθεματικής εκπαίδευσης.

Η φυσική νοημοσύνη αποτελεί έναν ουσιώδη και πολυδιάστατο τύπο νοημοσύνης που εμπλουτίζει την κατανόηση της ανθρώπινης γνωστικής ποικιλομορφίας. Σε μια εποχή παγκόσμιας περιβαλλοντικής κρίσης, η ενίσχυση της φυσικής νοημοσύνης μέσα από την εκπαιδευτική διαδικασία δεν είναι απλώς παιδαγωγικά επιθυμητή, αλλά και κοινωνικά επιβεβλημένη. Η αναγνώριση της σημασίας της συμβάλλει στη διαμόρφωση ενεργών πολιτών με οικολογική συνείδηση, ικανών να δράσουν υπεύθυνα στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) αποτελεί έναν από τους πλέον ραγδαία εξελισσόμενους κλάδους της επιστήμης των υπολογιστών και της τεχνολογίας, με σημαντικές επιπτώσεις σε πληθώρα επιστημονικών και κοινωνικών τομέων. Πρόκειται για μια προηγμένη τεχνολογία που επιτρέπει στους υπολογιστές και στα υπολογιστικά συστήματα να εκτελούν λειτουργίες οι οποίες, μέχρι πρόσφατα, θεωρούνταν αποκλειστικό προνόμιο της ανθρώπινης νοητικής ικανότητας, όπως η μάθηση, η λογική σκέψη, η λήψη αποφάσεων και η επίλυση σύνθετων προβλημάτων.

Η λειτουργία της τεχνητής νοημοσύνης βασίζεται στη χρήση αλγορίθμων και μαθηματικών μοντέλων, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να μαθαίνουν μέσα από την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, να αναγνωρίζουν πρότυπα και σχέσεις, να βελτιώνουν διαρκώς την απόδοσή τους και να προσαρμόζονται σε νέες συνθήκες και πληροφορίες. Η ικανότητα αυτή καθιστά την τεχνητή νοημοσύνη ιδιαίτερα αποδοτική σε περιβάλλοντα όπου η πολυπλοκότητα και η αβεβαιότητα είναι αυξημένες.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της υγείας και της ιατρικής. Η δυνατότητα ανάλυσης τεράστιων όγκων δεδομένων, όπως ιατρικά αρχεία, απεικονιστικές εξετάσεις και γενετικές πληροφορίες, επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση ασθενειών, την ακριβέστερη διάγνωση και την εξατομίκευση των θεραπευτικών παρεμβάσεων (Ahmed et al., 2020). Οι βασικές αρχές της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική περιλαμβάνουν την ανάπτυξη συστημάτων ανάλυσης ιατρικών εικόνων, την επεξεργασία φυσικής γλώσσας για την κατανόηση ιατρικών κειμένων και κλινικών σημειώσεων, καθώς και την πρόβλεψη της εξέλιξης ασθενειών. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνητή νοημοσύνη λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης της κλινικής απόφασης, ενισχύοντας το έργο των επαγγελματιών υγείας και συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας φροντίδας των ασθενών.

2.1 Ιστορική Αναδρομή της Τεχνητής Νοημοσύνης

2.1.1. Πρώτες ιδέες και φιλοσοφικές βάσεις (πριν το 1950)

Η ιδέα της δημιουργίας μηχανών που μπορούν να σκέφτονται και να μιμούνται τη νοητική λειτουργία του ανθρώπου δεν αποτελεί σύγχρονο φαινόμενο. Αντίθετα, οι ρίζες της εντοπίζονται σε φιλοσοφικούς και επιστημονικούς προβληματισμούς αιώνων, οι οποίοι αφορούσαν τη φύση της ανθρώπινης νόησης, της λογικής και της γνώσης. Φιλόσοφοι όπως ο Αριστοτέλης ανέπτυξαν συστήματα τυπικής λογικής, τα οποία αργότερα αποτέλεσαν έμπνευση για την αλγοριθμική σκέψη.

Κατά το πρώτο μισό του 20ού αιώνα, η εξέλιξη των μαθηματικών, της λογικής και της θεωρίας των υπολογισμών δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη μηχανική επεξεργασία της πληροφορίας. Το 1936, ο Alan Turing παρουσίασε τη θεωρία της «Μηχανής Turing», ενός αφηρημένου υπολογιστικού μοντέλου που απέδειξε ότι κάθε υπολογιστικό πρόβλημα μπορεί, θεωρητικά, να επιλυθεί από μια μηχανή, εφόσον υπάρχει ο κατάλληλος αλγόριθμος. Η συμβολή αυτή αποτέλεσε θεμέλιο λίθο τόσο για την ανάπτυξη των σύγχρονων υπολογιστών όσο και για τη μετέπειτα εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης.

Σημαντικό ορόσημο αποτέλεσε και το 1943, όταν οι Warren McCulloch και Walter Pitts παρουσίασαν το πρώτο μαθηματικό μοντέλο τεχνητού νευρώνα, επιχειρώντας να προσομοιώσουν τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου μέσω απλών λογικών πράξεων. Το έργο τους έθεσε τις βάσεις για τη δημιουργία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία σήμερα αποτελούν βασικό πυλώνα της σύγχρονης τεχνητής νοημοσύνης.

2.1.2. Η γέννηση της τεχνητής νοημοσύνης (1950–1960)

Το 1950, ο Alan Turing δημοσίευσε το εμβληματικό άρθρο «Computing Machinery and Intelligence», στο οποίο έθεσε το θεμελιώδες ερώτημα «μπορούν οι μηχανές να σκεφτούν;». Στο ίδιο έργο πρότεινε το γνωστό πλέον «Τεστ Turing», ένα πείραμα αξιολόγησης της ευφυΐας μιας μηχανής, βασισμένο στην ικανότητά της να μιμείται πειστικά την ανθρώπινη συμπεριφορά μέσω διαλόγου.

Το 1956 σηματοδοτείται ως η επίσημη γέννηση της τεχνητής νοημοσύνης ως αυτόνομου επιστημονικού πεδίου, με τη διεξαγωγή του συνεδρίου Dartmouth Summer Research Project

on Artificial Intelligence. Υπό την καθοδήγηση του John McCarthy, επιστήμονες όπως οι Marvin Minsky και Claude Shannon διατύπωσαν την πεποίθηση ότι κάθε πτυχή της ανθρώπινης νοημοσύνης μπορεί, θεωρητικά, να περιγραφεί και να υλοποιηθεί από μια μηχανή.

Την ίδια περίοδο αναπτύχθηκαν και τα πρώτα λειτουργικά προγράμματα τεχνητής νοημοσύνης, όπως το Logic Theorist των Allen Newell και Herbert A. Simon, το οποίο ήταν ικανό να αποδεικνύει μαθηματικά θεωρήματα. Το πρόγραμμα αυτό θεωρήθηκε επαναστατικό, καθώς απέδειξε ότι οι υπολογιστές μπορούν να εκτελούν εργασίες που απαιτούν λογική σκέψη και αφαιρετική ικανότητα.

2.1.3. Περίοδος ανάπτυξης και περιορισμών (1960–1980)

Κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970, η τεχνητή νοημοσύνη γνώρισε έντονη ανάπτυξη σε τομείς όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η ρομποτική και η συμβολική τεχνητή νοημοσύνη. Τα συστήματα αυτής της περιόδου βασίζονταν κυρίως σε κανόνες και λογικές αναπαραστάσεις γνώσης.

Ωστόσο, οι υπερβολικά αισιόδοξες προβλέψεις των ερευνητών συγκρούστηκαν με τις τεχνολογικές δυνατότητες της εποχής. Η περιορισμένη υπολογιστική ισχύς, η έλλειψη μεγάλων συνόλων δεδομένων και η δυσκολία διαχείρισης της αβεβαιότητας οδήγησαν σε απογοητευτικά αποτελέσματα. Ως συνέπεια, η χρηματοδότηση και το ενδιαφέρον για την τεχνητή νοημοσύνη μειώθηκαν δραστικά, οδηγώντας στη λεγόμενη «AI Winter».

2.1.4. Αναβίωση μέσω νευρωνικών δικτύων και expert systems (1980–2000)

Η δεκαετία του 1980 σηματοδότησε μια νέα περίοδο αναγέννησης της τεχνητής νοημοσύνης, κυρίως μέσω της ανάπτυξης των expert systems και της επαναφοράς των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Τα expert systems βασίζονταν σε εξειδικευμένη γνώση και κανόνες και χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία σε τομείς όπως η ιατρική διάγνωση, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το σύστημα MYCIN.

Παράλληλα, η πρόοδος στην υπολογιστική ισχύ και η σταδιακή ψηφιοποίηση της πληροφορίας δημιούργησαν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη πιο σύνθετων αλγορίθμων, προετοιμάζοντας το έδαφος για τις μελλοντικές εξελίξεις.

2.1.5. Η επανάσταση της βαθιάς μάθησης και η σύγχρονη εποχή (2000–σήμερα)

Από τις αρχές του 21ου αιώνα, η τεχνητή νοημοσύνη εισήλθε σε μια περίοδο ραγδαίας ανάπτυξης, χάρη στη συνδυασμένη αύξηση της υπολογιστικής ισχύος, τη διαθεσιμότητα μεγάλων δεδομένων (big data) και την εξέλιξη προηγμένων αλγορίθμων. Η βαθιά μάθηση (deep learning), που βασίζεται σε πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα, επέτρεψε στα συστήματα να μαθαίνουν απευθείας από τα δεδομένα, χωρίς την ανάγκη εκτενούς ανθρώπινης παρέμβασης (Panch et al., 2018).

Ορόσημα αυτής της περιόδου αποτέλεσαν η επιτυχία της βαθιάς μάθησης σε διαγωνισμούς αναγνώρισης εικόνας το 2012 και η νίκη του AlphaGo της DeepMind απέναντι στον κορυφαίο παίκτη του Go το 2016. Σήμερα, η τεχνητή νοημοσύνη έχει καθιερωθεί ως βασικό εργαλείο στον χώρο της υγείας, με εφαρμογές που αφορούν τη διάγνωση, τη ρομποτική χειρουργική, την ανακάλυψη φαρμάκων και την εξατομικευμένη ιατρική φροντίδα (Rubinger et al., 2023).

Στη σημερινή εποχή, η τεχνητή νοημοσύνη έχει εδραιωθεί ως αναπόσπαστο εργαλείο στον χώρο της υγείας. Πολλές από τις εφαρμογές της βρίσκονται ήδη σε κλινική χρήση ή δοκιμάζονται σε πειραματικό στάδιο, με σκοπό την ενίσχυση της διαγνωστικής ακρίβειας, τη βελτιστοποίηση των θεραπειών και τη γενικότερη αναβάθμιση της ποιότητας των ιατρικών υπηρεσιών (Rubinger et al., 2023).

Στην συνέχεια παρατίθεται ένας αναλυτικός χρονολογικός πίνακας ορόσημων στην ιστορία της τεχνητής νοημοσύνης

Έτος	**Γεγονός**	**Σημαντική Προσωπικότητα / Ομάδα**
1936	Δημοσίευση της θεωρίας της «Μηχανής Turing» που θέτει τις βάσεις για τους υπολογιστές	Alan Turing
1943	Πρόταση των πρώτων μαθηματικών μοντέλων νευρώνων	Warren McCulloch, Walter Pitts
1950	Δημοσίευση του άρθρου «Computing Machinery and Intelligence» με το τεστ Turing	Alan Turing
1956	Διεξαγωγή του συνεδρίου Dartmouth, η «γέννηση» της Τεχνητής Νοημοσύνης ως επιστημονικού πεδίου	John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon
1956	Ανάπτυξη του προγράμματος Logic Theorist, ικανό να αποδεικνύει λογικά θεωρήματα	Allen Newell, Herbert A. Simon

Έτος	Γεγονός	Σημαντική Προσωπικότητα / Ομάδα
1960s	Εμφάνιση των πρώτων συστημάτων επεξεργασίας φυσικής γλώσσας και ρομπότ	-
1970s	Πρώτο «AI Winter»: περιορισμός χρηματοδότησης λόγω υπερβολικών προσδοκιών και περιορισμών τεχνολογίας	-
1980s	Αναβίωση της ΤΝ με τα νευρωνικά δίκτυα και τα Expert Systems, όπως το MYCIN	-
1997	Το Deep Blue της IBM νικά τον παγκόσμιο πρωταθλητή στο σκάκι Garry Kasparov	IBM, Garry Kasparov
2000s	Ανάπτυξη πιο ισχυρών αλγορίθμων και η εκρηκτική αύξηση δεδομένων και υπολογιστικής ισχύος	-
2012	Επανάσταση της βαθιάς μάθησης με τη νίκη σε διαγωνισμούς αναγνώρισης εικόνας	Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever
2016	Το AlphaGo της DeepMind νικά κορυφαίο παίκτη στο παιχνίδι Go	DeepMind, Demis Hassabis
2020+	Εφαρμογές ΤΝ σε ιατρική διάγνωση, ρομποτική, φαρμακευτική και άλλους τομείς	-

Η τεχνητή νοημοσύνη ξεκίνησε να αναπτύσσεται ήδη από τη δεκαετία του 1950, όταν πρωτοπόροι επιστήμονες όπως ο Alan Turing και ο John McCarthy διαμόρφωσαν τα θεμέλια για τη δημιουργία συστημάτων ικανών να προσομοιώνουν την ανθρώπινη σκέψη. Ένα από τα πρώτα καθοριστικά βήματα υπήρξε η παρουσίαση της μηχανής Turing, ενός θεωρητικού υπολογιστικού μοντέλου που έθεσε τις βάσεις για τη μετέπειτα ανάπτυξη των σύγχρονων υπολογιστών.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η τεχνητή νοημοσύνη γνώρισε σημαντική πρόοδο, κυρίως χάρη στην εμφάνιση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία άνοιξαν τον δρόμο για εφαρμογές όπως η αναγνώριση εικόνας και ήχου. Από τις αρχές του 21ου αιώνα, η εκρηκτική άνοδος της υπολογιστικής ισχύος και η διαθεσιμότητα τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων συνέβαλαν στην εξέλιξη πιο προηγμένων τεχνικών, όπως η βαθιά μάθηση (deep learning), που βασίζεται σε πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα (Panch et al., 2018).

2.2 Ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI)

2.2.1 Εισαγωγή στην έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ) αποτελεί έναν από τους πιο καινοτόμους και ραγδαία αναπτυσσόμενους κλάδους της σύγχρονης επιστήμης. Αντικείμενό της είναι η μελέτη και ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων που μπορούν να εκτελούν λειτουργίες που, υπό φυσιολογικές συνθήκες, απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη — όπως η μάθηση, η αντίληψη, η αναγνώριση προτύπων, η λήψη αποφάσεων και η επίλυση προβλημάτων (Russell and Norvig, 2021).
Με άλλα λόγια, η ΤΝ στοχεύει στη δημιουργία μηχανών που μπορούν να «σκέφτονται» και να «μαθαίνουν» με τρόπο παρόμοιο με τον άνθρωπο, προσομοιώνοντας γνωστικές λειτουργίες όπως η λογική, η δημιουργικότητα και η εμπειρική μάθηση.

Η τεχνητή νοημοσύνη δεν είναι ένα ενιαίο πεδίο, αλλά ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και τεχνολογικών προσεγγίσεων που περιλαμβάνουν τη μηχανική μάθηση (machine learning), τη βαθιά μάθηση (deep learning), τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, την επεξεργασία φυσικής γλώσσας (natural language processing) και τη ρομποτική. Μέσω αυτών των τεχνικών, τα συστήματα ΤΝ είναι σε θέση να επεξεργάζονται τεράστιους όγκους δεδομένων, να εντοπίζουν συσχετίσεις και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση την εμπειρία (Goodfellow, Bengio and Courville, 2016).

Η ανάγκη για την ανάπτυξη ΤΝ προκύπτει από την επιθυμία του ανθρώπου να επεκτείνει τις γνωστικές του ικανότητες και να δημιουργήσει εργαλεία που θα μπορούν να επιλύουν πολύπλοκα προβλήματα, να αυξάνουν την παραγωγικότητα και να συμβάλλουν στην πρόοδο της επιστήμης και της κοινωνίας. Παρότι η ΤΝ έχει τις ρίζες της στις πρώτες προσπάθειες αυτοματοποίησης λογικών διαδικασιών τον 20ό αιώνα, σήμερα αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα του ψηφιακού μετασχηματισμού και του τέταρτου βιομηχανικού κύματος.

2.2.2 Σύγχρονες προσεγγίσεις και κατηγορίες της ΤΝ

Στη σύγχρονη επιστήμη, η ΤΝ χωρίζεται συνήθως σε δύο βασικές κατηγορίες:

Ασθενής ή περιορισμένη ΤΝ (Weak/Narrow AI):

Αναφέρεται σε συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες, όπως αναγνώριση φωνής, ταξινόμηση εικόνων ή προτάσεις περιεχομένου. Η ασθενής ΤΝ δεν διαθέτει γενική κατανόηση ή συνείδηση· λειτουργεί αποκλειστικά εντός προκαθορισμένων πλαισίων (Russell and Norvig, 2021).

Ισχυρή ή γενική ΤΝ (Strong/General AI):

Αφορά υποθετικά συστήματα που θα μπορούσαν να κατανοούν, να μαθαίνουν και να συλλογίζονται με τρόπο παρόμοιο με τον άνθρωπο, σε διαφορετικά γνωστικά πεδία. Παρόλο που παραμένει θεωρητική, η ισχυρή ΤΝ αποτελεί αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος και φιλοσοφικής συζήτησης (Bostrom, 2017).

Επιπλέον, ορισμένοι ερευνητές προτείνουν και μια τρίτη κατηγορία, την υπερνοημοσύνη (Artificial Superintelligence), που περιγράφει ένα υποθετικό μελλοντικό στάδιο κατά το οποίο οι μηχανές θα ξεπεράσουν τις γνωστικές ικανότητες του ανθρώπου (Kurzweil, 2022).

2.2.3 Η λειτουργική διάσταση της ΤΝ

Σε λειτουργικό επίπεδο, η ΤΝ μπορεί να οριστεί ως το σύνολο των μεθόδων και αλγορίθμων που επιτρέπουν στους υπολογιστές να «μαθαίνουν» από δεδομένα και να βελτιώνουν την απόδοσή τους χωρίς να είναι ρητά προγραμματισμένοι (Domingos, 2015).
Η μηχανική μάθηση (Machine Learning) και η βαθιά μάθηση (Deep Learning) αποτελούν τις σημαντικότερες υποκατηγορίες της ΤΝ. Μέσω αυτών, τα συστήματα αναγνωρίζουν μοτίβα, πραγματοποιούν προβλέψεις και λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε προηγούμενες εμπειρίες.

Για παράδειγμα, στην ιατρική, ένα σύστημα ΤΝ μπορεί να αναλύσει χιλιάδες απεικονιστικά δεδομένα και να εντοπίσει πιθανές παθολογικές ενδείξεις με ακρίβεια συγκρίσιμη ή και ανώτερη εκείνης του ανθρώπου (Topol, 2019). Η ίδια λογική εφαρμόζεται και στην οικονομία, την εκπαίδευση, την κυβερνοασφάλεια και πολλούς άλλους τομείς.

2.2.4 Φιλοσοφικές και γνωσιακές προσεγγίσεις

Η ανάπτυξη της ΤΝ έχει προκαλέσει έντονες φιλοσοφικές συζητήσεις σχετικά με τη φύση της νοημοσύνης και τη δυνατότητα των μηχανών να «σκέφτονται». Ο Alan Turing ήδη από το 1950 διατύπωσε το ερώτημα: «Μπορούν οι μηχανές να σκεφτούν;», προτείνοντας ως κριτήριο το γνωστό Turing Test — μια διαδικασία όπου ένας άνθρωπος προσπαθεί να διακρίνει αν συνομιλεί με μηχανή ή άνθρωπο (Turing, 1950).

Αργότερα, ο John Searle (1980), μέσω του πειράματος του «Κινεζικού Δωματίου», αμφισβήτησε την ιδέα ότι η προσομοίωση της νοημοσύνης ισοδυναμεί με κατανόηση. Υποστήριξε ότι μια μηχανή μπορεί να επεξεργάζεται σύμβολα (π.χ. λέξεις) χωρίς να κατανοεί το νόημά τους.

Αυτή η διάκριση μεταξύ συντακτικής και σημασιολογικής κατανόησης αποτελεί μέχρι σήμερα ένα από τα βασικά φιλοσοφικά όρια της ΤΝ.

Οι παραπάνω απόψεις δείχνουν πως, αν και η ΤΝ μπορεί να αναπαράγει ορισμένες λειτουργίες του ανθρώπινου νου, δεν διαθέτει συνείδηση, βούληση ή συναισθηματική εμπειρία. Η ανθρώπινη νοημοσύνη παραμένει μοναδική στο ότι εμπεριέχει αξίες, συναισθήματα και αυτογνωσία — στοιχεία που μέχρι σήμερα καμία μηχανή δεν έχει καταφέρει να προσομοιώσει αυθεντικά.

2.2.5 Η Τεχνητή Νοημοσύνη ως τεχνολογικό και κοινωνικό φαινόμενο

Στη σημερινή εποχή, η τεχνητή νοημοσύνη έχει εξέλθει από τα ερευνητικά εργαστήρια και εφαρμόζεται σε πραγματικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιείται σε συστήματα υγείας, σε έξυπνες πόλεις, σε εφαρμογές κινητών, σε αυτόνομα οχήματα και σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η ΤΝ αποτελεί βασικό παράγοντα του ψηφιακού μετασχηματισμού των κοινωνιών, επηρεάζοντας τόσο την οικονομία όσο και την καθημερινότητα των πολιτών (Floridi et al., 2018).

Ωστόσο, η ευρεία της χρήση εγείρει ηθικά και νομικά ζητήματα: ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων, διαφάνειας των αλγορίθμων, μεροληψίας (bias) στα δεδομένα εκπαίδευσης και πιθανής αντικατάστασης ανθρώπινων επαγγελμάτων.

Η ανάγκη για υπεύθυνη και ηθική ανάπτυξη της ΤΝ είναι πλέον επιτακτική. Ο συνδυασμός τεχνολογικής και ηθικής σκέψης μπορεί να εξασφαλίσει ότι η ΤΝ θα λειτουργεί ως εργαλείο ενίσχυσης της ανθρώπινης ευφυΐας, και όχι ως παράγοντας αποξένωσης ή ανισότητας.

Συνοψίζοντας, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να οριστεί ως:

«Ο επιστημονικός και τεχνολογικός κλάδος που ασχολείται με τη μελέτη, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη συστημάτων ικανών να επιδεικνύουν μορφές ευφυούς συμπεριφοράς, μέσω της μάθησης, της προσαρμογής και της λήψης αποφάσεων, προσομοιώνοντας γνωστικές λειτουργίες του ανθρώπινου νου» (Russell and Norvig, 2021).

Η ΤΝ, ως πεδίο, δεν περιορίζεται μόνο στη δημιουργία «έξυπνων» μηχανών, αλλά αποτελεί ένα μέσο κατανόησης της ίδιας της νοημοσύνης, ενισχύοντας τον διάλογο μεταξύ επιστήμης, τεχνολογίας και φιλοσοφίας. Η δυναμική της εξέλιξη αποδεικνύει ότι η ΤΝ δεν είναι απλώς ένα εργαλείο, αλλά ένας νέος τρόπος σκέψης και αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου και μηχανής.

2.3 Σύγκριση μεταξύ Φυσικής και Τεχνητής Νοημοσύνης

Η έννοια της νοημοσύνης αποτελεί διαχρονικό αντικείμενο μελέτης και συζήτησης, καθώς συνδέεται με την ίδια τη φύση της ανθρώπινης ύπαρξης. Η νοημοσύνη, ως ικανότητα αντίληψης, κατανόησης, μάθησης και προσαρμογής, έχει υπάρξει καθοριστικός παράγοντας για την επιβίωση και την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους. Στο πλαίσιο της σύγχρονης τεχνολογικής εποχής, η εμφάνιση και ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) έχει επαναπροσδιορίσει τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τη σκέψη, τη γνώση και τη δημιουργικότητα.

Η σύγκριση μεταξύ φυσικής και τεχνητής νοημοσύνης δεν είναι απλώς τεχνική· είναι βαθιά φιλοσοφική, επιστημονική και κοινωνική, καθώς αναδεικνύει τα όρια της ανθρώπινης φύσης, αλλά και τις προοπτικές μιας τεχνολογικά επαυξημένης πραγματικότητας.

2.3.1 Η φύση και η προέλευση της νοημοσύνης

Η φυσική νοημοσύνη, δηλαδή η ανθρώπινη, είναι προϊόν μιας εξελικτικής διαδικασίας εκατομμυρίων ετών. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος, με τα περίπου 86 δισεκατομμύρια νευρώνες, λειτουργεί μέσα από πολύπλοκα βιοχημικά και ηλεκτροχημικά δίκτυα που επιτρέπουν τη μάθηση, τη συνειδητότητα και τη συναισθηματική εμπειρία (Gazzaniga, Ivry and Mangun, 2018). Η ανθρώπινη σκέψη διαμορφώνεται από τη βιολογία, το περιβάλλον, την κοινωνία και την πολιτισμική εμπειρία. Ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί αφηρημένες έννοιες, να αναστοχάζεται και να νοηματοδοτεί την ύπαρξή του — χαρακτηριστικά που υπερβαίνουν την απλή επεξεργασία πληροφοριών.

Αντίθετα, η τεχνητή νοημοσύνη είναι δημιούργημα του ανθρώπινου νου. Αποτελεί προϊόν προγραμματισμού, μαθηματικών υπολογισμών και μηχανικής μάθησης, χωρίς βιολογική ή συνειδησιακή βάση (Russell and Norvig, 2021). Ενώ η ανθρώπινη νοημοσύνη «γεννιέται» και αναπτύσσεται μέσα σε κοινωνικά και συναισθηματικά πλαίσια, η ΤΝ «εκπαιδεύεται» μέσα από σύνολα δεδομένων (datasets) που της παρέχονται. Η ΤΝ, επομένως, δεν κατέχει εγγενή κατανόηση ή αυτοσυνείδηση· λειτουργεί βάσει πιθανοτήτων και αλγοριθμικών συσχετίσεων.

2.3.2. Μηχανισμοί μάθησης και κατανόησης

Η ανθρώπινη μάθηση είναι δυναμική, ευέλικτη και πολυδιάστατη. Ο άνθρωπος μαθαίνει όχι μόνο από την εμπειρία, αλλά και από τη φαντασία, τη διαίσθηση και την κοινωνική αλληλεπίδραση. Μπορεί να αντλήσει γνώσεις από ελλιπή ή αντιφατικά δεδομένα, να προσαρμόζεται σε νέα περιβάλλοντα και να αναπτύσσει μεταγνώση — δηλαδή γνώση για τη γνώση του (Dehaene, 2020). Επιπλέον, η ανθρώπινη μάθηση περιλαμβάνει συναισθηματικά και ηθικά στοιχεία: ο άνθρωπος μαθαίνει να νοιάζεται, να αισθάνεται, να συμπονά και να συνδέεται με τους άλλους.

Αντίθετα, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης βασίζονται στη μηχανική μάθηση (machine learning) και στη βαθιά μάθηση (deep learning). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στην ΤΝ να εντοπίζει μοτίβα και να βελτιώνει την απόδοσή της μέσα από την επεξεργασία τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων (Goodfellow, Bengio and Courville, 2016). Ωστόσο, η μάθηση αυτή είναι περιορισμένη: η ΤΝ δεν κατανοεί τις έννοιες που «μαθαίνει», ούτε έχει τη δυνατότητα μεταφοράς γνώσης από ένα πεδίο σε άλλο (transfer learning) με τον τρόπο που το κάνει ο

άνθρωπος.

Για παράδειγμα, ένας άνθρωπος που μαθαίνει μια γλώσσα μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτή τη γνώση για να κατανοήσει πολιτισμικά συμφραζόμενα, ενώ ένα γλωσσικό μοντέλο ΤΝ απλώς υπολογίζει πιθανότητες εμφάνισης λέξεων βάσει προτύπων.

2.3.3. Δημιουργικότητα και συναισθηματική νοημοσύνη

Η δημιουργικότητα αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της ανθρώπινης νοημοσύνης. Συνδέεται με την ικανότητα να συνδυάζουμε ιδέες, εμπειρίες και συναισθήματα ώστε να παραγάγουμε κάτι νέο, πρωτότυπο και με νόημα. Ο άνθρωπος δημιουργεί τέχνη, μουσική, ποίηση και επιστημονικές θεωρίες όχι μόνο μέσα από τη λογική, αλλά και μέσω της φαντασίας και του συναισθήματος (Damasio, 2018). Η συναισθηματική νοημοσύνη, εξίσου, του επιτρέπει να αναγνωρίζει τα συναισθήματά του και εκείνα των άλλων, να αναπτύσσει ενσυναίσθηση και να ενεργεί με βάση κοινωνικές αξίες.

Η τεχνητή νοημοσύνη, αντιθέτως, λειτουργεί μέσα σε αυστηρά υπολογιστικά πλαίσια. Παρότι έχει καταφέρει να παράγει «δημιουργικά» έργα —όπως μουσική ή εικόνες— αυτά προκύπτουν από ανάλυση και ανασύνθεση υπαρχόντων δεδομένων (Boden, 2016). Δεν υπάρχει πρόθεση, συναίσθημα ή υποκειμενικότητα στη διαδικασία αυτή. Η «δημιουργικότητα» της ΤΝ είναι παράγωγο αλγοριθμικής τυχαιότητας, όχι αποτέλεσμα βιωματικής έμπνευσης. Επίσης, η ΤΝ δεν διαθέτει αυθεντική συναισθηματική εμπειρία· μπορεί να «αναγνωρίζει» συναισθήματα μέσω εκφράσεων ή τόνου φωνής, αλλά δεν τα βιώνει.

2.3.4. Λήψη αποφάσεων, κρίση και ηθική διάσταση

Η ανθρώπινη λήψη αποφάσεων βασίζεται όχι μόνο στη λογική, αλλά και σε αξίες, εμπειρίες και κοινωνικούς κανόνες. Ο άνθρωπος είναι ικανός να λαμβάνει υπόψη του ηθικές, συναισθηματικές και υπαρξιακές παραμέτρους πριν δράσει. Διαθέτει επίγνωση της ευθύνης του και μπορεί να αναλογιστεί τις συνέπειες των πράξεών του. Αντιθέτως, η τεχνητή νοημοσύνη λαμβάνει αποφάσεις βάσει δεδομένων και προκαθορισμένων αλγορίθμων, χωρίς ηθική επίγνωση (Bostrom, 2017). Οι αποφάσεις της είναι συχνά αποδοτικές, αλλά ενδέχεται να είναι άδικες ή μεροληπτικές, ανάλογα με τα δεδομένα στα οποία έχει εκπαιδευτεί (Floridi et al., 2018).

Για παράδειγμα, στην ιατρική διάγνωση ή στη δικαιοσύνη, η χρήση αλγορίθμων χωρίς επαρκή διαφάνεια μπορεί να οδηγήσει σε λάθη που επηρεάζουν ανθρώπινες ζωές.

Η απουσία συνείδησης στην ΤΝ εγείρει σοβαρά ηθικά και νομικά ζητήματα. Ποιος ευθύνεται για μια λανθασμένη απόφαση που λαμβάνεται από αλγόριθμο; Μπορεί η ΤΝ να θεωρηθεί αυτόνομος «πράκτορας» ή είναι απλώς ένα εργαλείο; Αυτά τα ερωτήματα αναδεικνύουν την ανάγκη για ανθρώπινη εποπτεία και για σαφές πλαίσιο ηθικής και νομικής ρύθμισης (Morley et al., 2020).

2.3.5. Περιορισμοί και προοπτικές

Η φυσική νοημοσύνη έχει το πλεονέκτημα της προσαρμοστικότητας και της κατανόησης των συμφραζομένων. Ωστόσο, είναι περιορισμένη ως προς την ταχύτητα επεξεργασίας και τη μνήμη. Η τεχνητή νοημοσύνη, αντίθετα, υπερτερεί σε ταχύτητα, ακρίβεια και όγκο δεδομένων, αλλά στερείται ευελιξίας, κρίσης και δημιουργικής κατανόησης.

Η σύγχρονη τάση δεν είναι να αντικαταστήσει η ΤΝ τον άνθρωπο, αλλά να συνεργαστεί μαζί του. Αυτή η «συνεργατική νοημοσύνη» (collaborative intelligence) επιδιώκει να συνδυάσει την ανθρώπινη κριτική σκέψη και ενσυναίσθηση με τις υπολογιστικές δυνατότητες της ΤΝ (Topol, 2019). Στο μέλλον, η επιτυχής συνύπαρξη των δύο μορφών νοημοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε μια νέα εποχή όπου η τεχνολογία ενισχύει —αντί να αντικαθιστά— τον άνθρωπο.

2.3.6. Φιλοσοφικές και υπαρξιακές διαστάσεις

Η διαφορά μεταξύ φυσικής και τεχνητής νοημοσύνης επεκτείνεται πέρα από τη λειτουργικότητα. Αγγίζει τον ίδιο τον ορισμό της ανθρώπινης ύπαρξης. Ο άνθρωπος δεν είναι απλώς υπολογιστική μηχανή· διαθέτει βούληση, αυτογνωσία και ικανότητα να αποδίδει νόημα στα πράγματα. Αντίθετα, η ΤΝ μπορεί να μιμηθεί τη συμπεριφορά, όχι όμως τη συνείδηση (Searle,1980).

Η συζήτηση για το αν μια μηχανή μπορεί να «σκεφτεί» παραμένει ανοιχτή από την εποχή του Alan Turing, ωστόσο η πλειοψηφία των επιστημόνων συμφωνεί ότι η σκέψη χωρίς συνείδηση είναι ποσοτική, όχι ποιοτική διεργασία. Η ανθρώπινη νοημοσύνη, επομένως, δεν ορίζεται μόνο από τη γνώση, αλλά και από την εμπειρία του «είναι».

2.3.7. Προς μια νέα μορφή νοημοσύνης

Η συνεχής εξέλιξη της ΤΝ δημιουργεί προϋποθέσεις για μια υβριδική νοημοσύνη, όπου η ανθρώπινη και η τεχνητή διάνοια αλληλοσυμπληρώνονται. Η υβριδική αυτή μορφή στοχεύει στη μεγιστοποίηση των ανθρώπινων δυνατοτήτων με την υποστήριξη της τεχνολογίας, χωρίς να θυσιάζει την ηθική, τη δημιουργικότητα ή την ενσυναίσθηση (Kurzweil, 2022). Η μελλοντική πρόκληση δεν είναι να επιλέξουμε μεταξύ φυσικής ή τεχνητής νοημοσύνης, αλλά να διαμορφώσουμε έναν ηθικά καθοδηγούμενο τρόπο συνύπαρξης, όπου η ΤΝ θα λειτουργεί ως προέκταση — και όχι υποκατάστατο — της ανθρώπινης ευφυΐας.

Η φυσική νοημοσύνη είναι βαθιά ανθρώπινη: συναισθηματική, ηθική, ευέλικτη και αυτοσυνείδητη. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι προϊόν της ανθρώπινης δημιουργίας: υπολογιστική, αναλυτική και χωρίς ενσυναίσθηση. Οι δύο μορφές νοημοσύνης διαφέρουν ως προς τη φύση και τον σκοπό τους, αλλά μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά. Ο άνθρωπος, με την κρίση και τη δημιουργικότητά του, μπορεί να κατευθύνει την ΤΝ προς τη βελτίωση της ζωής και της κοινωνίας.

Το μέλλον της νοημοσύνης, επομένως, βρίσκεται όχι στην αντικατάσταση του ανθρώπου, αλλά στη συνύπαρξη και την αλληλεπίδραση των δύο αυτών μορφών νοημοσύνης, οδηγώντας σε ένα νέο μοντέλο ανθρωποκεντρικής τεχνολογίας.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας σύγκρισης των δυο τύπων νοημοσύνης:

Πτυχή / Κριτήριο	Φυσική Νοημοσύνη	Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ)
Προέλευση	Προϊόν βιολογικής εξέλιξης, αποτέλεσμα εκατομμυρίων ετών φυσικής επιλογής και κοινωνικής αλληλεπίδρασης.	Δημιούργημα του ανθρώπου μέσω προγραμματισμού, αλγορίθμων και υπολογιστικής επεξεργασίας δεδομένων.
Φύση λειτουργίας	Βιοχημική και νευρολογική. Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται πληροφορίες μέσω νευρώνων και συνάψεων.	Ψηφιακή και αλγοριθμική. Βασίζεται σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και μαθηματικούς υπολογισμούς.
Μάθηση	Εμπειρική, κοινωνική και συναισθηματική μάθηση. Περιλαμβάνει μεταγνώση και προσαρμογή σε άγνωστες καταστάσεις.	Εξαρτάται από δεδομένα (data-driven). Η μάθηση είναι περιορισμένη στο σύνολο πληροφοριών εκπαίδευσης.

Πτυχή / Κριτήριο	Φυσική Νοημοσύνη	Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ)
Κατανόηση	Ολιστική και εννοιολογική· συνδυάζει λογική, διαίσθηση, συναίσθημα και εμπειρία.	Μη εννοιολογική· αναγνωρίζει μοτίβα και συσχετίσεις χωρίς «κατανόηση» των εννοιών.
Συνείδηση	Διαθέτει αυτογνωσία, συνειδητότητα και υποκειμενική εμπειρία.	Δεν διαθέτει συνείδηση ή αυτογνωσία· προσομοιώνει συμπεριφορές χωρίς εσωτερική εμπειρία.
Συναισθηματική Νοημοσύνη	Υψηλή· αναγνωρίζει, βιώνει και διαχειρίζεται συναισθήματα.	Ανύπαρκτη· «αναγνωρίζει» συναισθήματα μέσω δεδομένων, χωρίς να τα βιώνει.
Δημιουργικότητα	Γνήσια, εμπνευσμένη από εμπειρίες, φαντασία και συναισθήματα.	Περιορισμένη· παράγει νέες συνθέσεις βάσει υπαρχόντων δεδομένων, χωρίς πρωτογενή έμπνευση.
Ηθική & Κρίση	Εμπλέκει αξίες, κοινωνικούς κανόνες και ηθική ευθύνη.	Δεν διαθέτει ηθική επίγνωση· εφαρμόζει προκαθορισμένα πλαίσια χωρίς συναισθηματική ή ηθική κατανόηση.
Ταχύτητα επεξεργασίας	Περιορισμένη από τη βιολογία, αλλά ικανή για αφηρημένη σκέψη και αναστοχασμό.	Εξαιρετικά υψηλή· μπορεί να επεξεργαστεί εκατομμύρια δεδομένα σε δευτερόλεπτα.
Προσαρμοστικότητα	Ικανότητα προσαρμογής σε νέα, απρόβλεπτα περιβάλλοντα και σύνθετες κοινωνικές συνθήκες.	Περιορισμένη σε γνωστά περιβάλλοντα ή δεδομένα εκπαίδευσης· δυσκολεύεται με νέες συνθήκες.
Εξάρτηση από δεδομένα	Μπορεί να λειτουργήσει και με ελλιπή πληροφορία μέσω διαίσθησης και εμπειρίας.	Απόλυτα εξαρτώμενη από την ποιότητα και ποσότητα των δεδομένων.
Στόχος λειτουργίας	Αυτοπραγμάτωση, κατανόηση του κόσμου, κοινωνική σύνδεση.	Εκτέλεση συγκεκριμένων υπολογιστικών ή αναλυτικών στόχων.
Πεδίο εφαρμογής	Απεριόριστο, περιλαμβάνει βιολογικές, κοινωνικές, ηθικές και πολιτισμικές διαστάσεις.	Εξειδικευμένο· αποδίδει εξαιρετικά σε συγκεκριμένα, σαφώς ορισμένα καθήκοντα.
Εξέλιξη	Οργανική, απρόβλεπτη και επηρεαζόμενη από το περιβάλλον και τον πολιτισμό.	Τεχνητή, εξαρτάται από την πρόοδο της τεχνολογίας και της επιστήμης των υπολογιστών.
Αλληλεπίδραση	Βασίζεται στην επικοινωνία, τη συνεργασία και την ενσυναίσθηση.	Βασίζεται σε προγραμματισμένες διεπαφές και αλγοριθμικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Πτυχή / Κριτήριο	Φυσική Νοημοσύνη	Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ)
Αυτονομία	Διαθέτει βούληση και δυνατότητα επιλογής με βάση αξίες και εμπειρίες.	Εξαρτάται από ανθρώπινο έλεγχο ή προκαθορισμένα πλαίσια λειτουργίας.
Αξιοπιστία	Μπορεί να επηρεαστεί από συναισθήματα, κόπωση ή προκατάληψη.	Παρουσιάζει συνέπεια και ακρίβεια, αλλά επηρεάζεται από σφάλματα δεδομένων και bias.
Τελικός σκοπός	Η αναζήτηση νοήματος, σχέσεων και εξέλιξης.	Η βελτιστοποίηση απόδοσης και αποτελεσματικότητας.

Ο παραπάνω πίνακας αποτυπώνει με σαφήνεια τις ουσιαστικές διαφορές αλλά και τις δυνατές συνάφειες μεταξύ φυσικής και τεχνητής νοημοσύνης. Ενώ η ανθρώπινη νοημοσύνη διακρίνεται από πολυπλοκότητα, ενσυναίσθηση και αυτοσυνειδησία, η τεχνητή νοημοσύνη χαρακτηρίζεται από υπολογιστική δύναμη, ακρίβεια και ταχύτητα.

Η αντιπαραβολή δείχνει πως οι δύο μορφές δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ανταγωνιστικά, αλλά συμπληρωματικά. Η ΤΝ μπορεί να ενισχύσει τις ανθρώπινες δυνατότητες, προσφέροντας ακρίβεια και αποτελεσματικότητα, ενώ ο άνθρωπος μπορεί να προσδώσει στις μηχανές ηθική κατεύθυνση, δημιουργικότητα και κοινωνική ευαισθησία.

Η ισορροπία μεταξύ των δύο μορφών νοημοσύνης αποτελεί το θεμέλιο της νέας εποχής της «συνεργατικής νοημοσύνης», στην οποία ο άνθρωπος παραμένει το επίκεντρο, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία για να ενδυναμώσει -και όχι να αντικαταστήσει- την ανθρώπινη διάνοια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ο Χώρος της Υγείας – Έννοια, Δομή και Σύγχρονες Προκλήσεις

3.1 Ιστορική αναδρομή του δημόσιου συστήματος υγείας

Το δημόσιο σύστημα υγείας αποτελεί βασικό θεσμό του σύγχρονου κοινωνικού κράτους και βασίζεται στην αρχή της κρατικής ευθύνης για την προστασία, διατήρηση και προαγωγή της υγείας του πληθυσμού. Η εξέλιξή του είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις κοινωνικές ανισότητες, τις οικονομικές μεταβολές, την επιστημονική πρόοδο και τις πολιτικές επιλογές κάθε ιστορικής περιόδου. Η υγεία σταδιακά μετατράπηκε από ατομική υπόθεση σε συλλογικό αγαθό και κοινωνικό δικαίωμα.

Δημόσια υγεία στην αρχαιότητα

Στην αρχαία Ελλάδα, η υγεία κατείχε κεντρική θέση στην κοινωνική και πολιτική ζωή. Παρότι δεν υπήρχε θεσμοθετημένο δημόσιο σύστημα υγείας, η πολιτεία λάμβανε μέτρα δημόσιας υγιεινής, αναγνωρίζοντας τη σημασία της πρόληψης. Η ύδρευση, η αποχέτευση, η καθαριότητα των δημόσιων χώρων και η ρύθμιση της διατροφής και της άσκησης των πολιτών αποτελούσαν βασικούς άξονες δημόσιας μέριμνας (Porter, 1997).

Τα Ασκληπιεία συνιστούσαν οργανωμένα κέντρα περίθαλψης και θεραπείας, στα οποία συνδυαζόταν η θρησκευτική πίστη με εμπειρικές ιατρικές πρακτικές. Παράλληλα, το έργο του Ιπποκράτη θεμελίωσε την επιστημονική ιατρική και έθεσε τις βάσεις της ιατρικής δεοντολογίας, επηρεάζοντας διαχρονικά την αντίληψη περί δημόσιας υγείας (Rosen, 2015).

Η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία ανέπτυξε εκτεταμένες κρατικές υποδομές δημόσιας υγιεινής, οι οποίες θεωρούνται πρόδρομες μορφές οργανωμένης δημόσιας υγείας. Τα υδραγωγεία, τα δημόσια λουτρά και τα αποχετευτικά συστήματα είχαν ως στόχο τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και τη μείωση των ασθενειών. Η παροχή ιατρικής φροντίδας στον στρατό και στους δημόσιους λειτουργούς αντανακλούσε την πρώιμη κρατική ευθύνη για την υγεία συγκεκριμένων πληθυσμιακών ομάδων (Rosen, 2015).

Κατά τον Μεσαίωνα, η κρατική παρέμβαση στη φροντίδα της υγείας υποχώρησε σημαντικά. Η Εκκλησία και τα μοναστικά τάγματα ανέλαβαν πρωταγωνιστικό ρόλο στη φροντίδα των ασθενών μέσω νοσοκομείων και ξενώνων. Τα ιδρύματα αυτά παρείχαν κυρίως κοινωνική προστασία και λιγότερο επιστημονική θεραπεία (Porter, 1997).

Ωστόσο, οι επιδημίες λοιμωδών νοσημάτων, όπως η πανώλη, κατέδειξαν την ανάγκη συλλογικών μέτρων. Οι πρώτες καραντίνες, οι υγειονομικοί έλεγχοι και οι κανονισμοί λιμένων αποτέλεσαν τα πρώτα συστηματικά βήματα κρατικής παρέμβασης στη δημόσια υγεία.

Η βιομηχανική επανάσταση του 18ου και 19ου αιώνα αποτέλεσε σημείο καμπής για την εξέλιξη του δημόσιου συστήματος υγείας. Η μαζική αστικοποίηση, οι ανθυγιεινές συνθήκες εργασίας και διαβίωσης και η εξάπλωση επιδημιών οδήγησαν τα κράτη στην αναγνώριση της υγείας ως συλλογικού αγαθού. Η ψήφιση νόμων δημόσιας υγιεινής και η δημιουργία κρατικών υγειονομικών υπηρεσιών αποτέλεσαν βασικές τομές αυτής της περιόδου (Baldwin, 1990).

Παράλληλα, η ανάπτυξη της επιδημιολογίας και της στατιστικής ανάλυσης συνέβαλε στην επιστημονική τεκμηρίωση της κρατικής παρέμβασης στη δημόσια υγεία.

Στα τέλη του 19ου αιώνα, το σύστημα κοινωνικής ασφάλισης του Bismarck στη Γερμανία αποτέλεσε πρότυπο για την οργανωμένη κρατική φροντίδα υγείας. Το κράτος ανέλαβε ρόλο ρυθμιστή και χρηματοδότη, καθιστώντας την υγειονομική περίθαλψη δικαίωμα των εργαζομένων (Baldwin, 1990).

Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η ίδρυση εθνικών συστημάτων υγείας, όπως το NHS στο Ηνωμένο Βασίλειο, καθιέρωσε την καθολική και ισότιμη πρόσβαση στις υπηρεσίες υγείας ως θεμελιώδες κοινωνικό δικαίωμα (WHO, 2010).

Στην Ελλάδα, οι πρώτες μορφές κρατικής υγειονομικής μέριμνας εμφανίστηκαν μετά τη σύσταση του νεοελληνικού κράτους. Κατά τον 19ο αιώνα, η υγειονομική πολιτική επικεντρώθηκε στην αντιμετώπιση επιδημιών και στη λειτουργία φιλανθρωπικών νοσοκομείων.

Κατά τον 20ό αιώνα, η υγειονομική περίθαλψη οργανώθηκε μέσω ασφαλιστικών ταμείων, με αποσπασματικό και άνισο τρόπο. Η ίδρυση του Εθνικού Συστήματος Υγείας (ΕΣΥ) το 1983

αποτέλεσε καθοριστική τομή, καθώς θεσμοθέτησε την καθολική, δωρεάν πρόσβαση στις δημόσιες υπηρεσίες υγείας και ενίσχυσε τον ρόλο του κράτους στη χρηματοδότηση και οργάνωση της υγειονομικής φροντίδας (OECD, 2019).

Παρά τις διαρθρωτικές αδυναμίες και τις οικονομικές πιέσεις, το ΕΣΥ παραμένει βασικός πυλώνας κοινωνικής προστασίας και δημόσιας υγείας στην Ελλάδα.

Στη σύγχρονη εποχή, το δημόσιο σύστημα υγείας καλείται να ανταποκριθεί σε νέες προκλήσεις, όπως η γήρανση του πληθυσμού, η αύξηση των χρόνιων νοσημάτων και οι παγκόσμιες υγειονομικές κρίσεις. Παρά τις δυσκολίες, εξακολουθεί να αποτελεί τον βασικό μηχανισμό διασφάλισης της ισότητας στην υγεία και της κοινωνικής συνοχής (WHO, 2010).

3.2 Ιστορική αναδρομή του ιδιωτικού συστήματος υγείας

Όπως αναδείχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το δημόσιο σύστημα υγείας εξελίχθηκε ως απάντηση στις συλλογικές υγειονομικές ανάγκες και στις κοινωνικές ανισότητες. Παράλληλα, το ιδιωτικό σύστημα υγείας αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της ατομικής πρωτοβουλίας, της οικονομικής δυνατότητας και της εμπορευματοποίησης των υπηρεσιών υγείας. Τα δύο συστήματα δεν λειτούργησαν ποτέ απομονωμένα, αλλά σε διαρκή αλληλεπίδραση, ανταγωνισμό και συμπληρωματικότητα.

Το ιδιωτικό σύστημα υγείας βασίζεται στην παροχή υπηρεσιών έναντι άμεσης πληρωμής ή μέσω ιδιωτικής ασφάλισης και χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ευελιξία, διαφοροποίηση υπηρεσιών και προσανατολισμό στην αγορά. Η ιστορική του εξέλιξη αντικατοπτρίζει τις κοινωνικές διαστρωματώσεις και τα όρια της κρατικής μέριμνας.

Στην αρχαιότητα, παρά την ύπαρξη στοιχείων δημόσιας υγιεινής, η ιατρική περίθαλψη παρεχόταν σε μεγάλο βαθμό ιδιωτικά. Οι ιατροί ασκούσαν το επάγγελμά τους ανεξάρτητα και αμείβονταν απευθείας από τους ασθενείς. Η πρόσβαση στις ιατρικές υπηρεσίες εξαρτιόταν από την κοινωνική και οικονομική θέση του ατόμου, γεγονός που καθιστά την ιδιωτική ιατρική πρακτική πρόδρομο των σύγχρονων ανισοτήτων στην υγεία (Porter, 1997).

Η συνύπαρξη ιδιωτικής ιατρικής και δημόσιων μέτρων υγιεινής καταδεικνύει ότι ήδη από την αρχαιότητα διαμορφώνονταν μικτά πρότυπα παροχής υπηρεσιών υγείας.

Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, η ιδιωτική ιατρική πρακτική συνέχισε να αναπτύσσεται, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Πολλοί ιατροί παρείχαν υπηρεσίες σε εύπορες οικογένειες ή λειτουργούσαν ιδιωτικά ιατρεία. Παράλληλα, η κρατική φροντίδα περιοριζόταν σε συγκεκριμένες ομάδες, όπως ο στρατός, γεγονός που άφηνε σημαντικό χώρο στον ιδιωτικό τομέα (Rosen, 2015).

Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, η ιδιωτική ιατρική υποχώρησε, χωρίς όμως να εξαλειφθεί πλήρως, επιβιώνοντας κυρίως στα αστικά κέντρα.

Κατά τον Μεσαίωνα, η ιδιωτική παροχή υπηρεσιών υγείας περιορίστηκε λόγω της κυριαρχίας της Εκκλησίας και της φιλανθρωπικής περίθαλψης. Ωστόσο, από τον 12ο αιώνα και έπειτα, παρατηρείται η επανεμφάνιση επαγγελματιών ιατρών που παρείχαν ιδιωτικές υπηρεσίες έναντι αμοιβής, κυρίως σε αριστοκρατικά και αστικά στρώματα (Porter, 1997).

Η περίοδος αυτή ανέδειξε εκ νέου τον ταξικό χαρακτήρα της πρόσβασης στην υγεία, στοιχείο που διατηρήθηκε και στους επόμενους αιώνες.

Η Αναγέννηση σηματοδότησε την πρόοδο της ιατρικής επιστήμης και την ενίσχυση της ιδιωτικής ιατρικής πρακτικής. Η ίδρυση πανεπιστημίων, η επιστημονική γνώση και η αύξηση της αστικής τάξης συνέβαλαν στη ζήτηση ιδιωτικών υπηρεσιών υγείας.

Οι ιατροί άρχισαν να λειτουργούν ιδιωτικά ιατρεία, ενώ η υγεία μετατράπηκε σταδιακά σε αντικείμενο οικονομικής συναλλαγής. Το κράτος εξακολουθούσε να έχει περιορισμένο ρόλο, γεγονός που ενίσχυσε περαιτέρω την ιδιωτική παροχή υπηρεσιών (Rosen, 2015).

Η βιομηχανική επανάσταση αποτέλεσε καθοριστική περίοδο για την εδραίωση του ιδιωτικού συστήματος υγείας. Η αύξηση των εισοδημάτων ορισμένων κοινωνικών ομάδων και η ανάπτυξη της αστικής ζωής δημιούργησαν ευνοϊκές συνθήκες για την εμπορευματοποίηση της υγείας.

Παράλληλα, οι περιορισμοί των δημόσιων παρεμβάσεων και η ανεπάρκεια κρατικών δομών άφησαν μεγάλο μέρος του πληθυσμού να εξαρτάται από ιδιωτικές λύσεις. Ιδιωτικά νοσοκομεία, κλινικές και ιατρεία άρχισαν να λειτουργούν συστηματικά, ενισχύοντας τη διαφοροποίηση μεταξύ δημόσιας και ιδιωτικής φροντίδας (Baldwin, 1990).

Κατά τον 20ό αιώνα, η ανάπτυξη της ιδιωτικής ασφάλισης υγείας αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα εδραίωσης του ιδιωτικού συστήματος υγείας. Οι ασφαλιστικές εταιρείες παρείχαν οικονομική κάλυψη έναντι ασθένειας, επιτρέποντας την πρόσβαση σε ιδιωτικές δομές υγείας.

Σε πολλές χώρες, η ιδιωτική ασφάλιση λειτούργησε είτε ως υποκατάστατο είτε ως συμπλήρωμα του δημόσιου συστήματος, ιδιαίτερα όταν αυτό δεν παρείχε καθολική κάλυψη ή παρουσίαζε μεγάλες καθυστερήσεις (Mossialos et al., 2016).

Στην Ελλάδα, η ιδιωτική παροχή υπηρεσιών υγείας έχει μακρά ιστορία. Ήδη από τον 19ο αιώνα, ιδιώτες ιατροί και θεραπευτήρια εξυπηρετούσαν κυρίως τις αστικές τάξεις. Η αποσπασματική ανάπτυξη του δημόσιου συστήματος υγείας κατά τον 20ό αιώνα ενίσχυσε τον ρόλο του ιδιωτικού τομέα.

Μετά τη δημιουργία του ΕΣΥ, το ιδιωτικό σύστημα δεν περιορίστηκε, αλλά λειτούργησε συμπληρωματικά, καλύπτοντας κενά του δημόσιου συστήματος και εξυπηρετώντας αυξημένες απαιτήσεις των πολιτών για ταχύτητα και επιλογή (OECD, 2019).

Στη σύγχρονη εποχή, το ιδιωτικό σύστημα υγείας αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των μικτών συστημάτων υγείας. Ωστόσο, η ενίσχυσή του εγείρει ζητήματα κοινωνικής δικαιοσύνης, καθώς η πρόσβαση στις ιδιωτικές υπηρεσίες εξαρτάται από την οικονομική δυνατότητα του ατόμου.

Η ιστορική εξέλιξη του ιδιωτικού συστήματος υγείας καταδεικνύει ότι λειτουργεί ως καθρέφτης των κοινωνικών ανισοτήτων και των περιορισμών του δημόσιου συστήματος, επιβεβαιώνοντας τη στενή και διαχρονική τους σχέση (WHO, 2010).

Το ιδιωτικό σύστημα υγείας δεν αναπτύχθηκε ανεξάρτητα, αλλά ως αποτέλεσμα των κοινωνικών αναγκών, των οικονομικών διαφοροποιήσεων και των ορίων της κρατικής παρέμβασης. Η συνύπαρξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα διαμόρφωσε τα σύγχρονα μικτά συστήματα υγείας.

3.3 Εισαγωγή στο χώρο της υγείας

Ο χώρος της υγείας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους πυλώνες ανάπτυξης και σταθερότητας κάθε κοινωνίας. Η υγεία, ως θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα, συνδέεται άμεσα με την ποιότητα ζωής, την κοινωνική δικαιοσύνη και την οικονομική ανάπτυξη (World Health Organization, 1948). Η οργάνωση και η λειτουργία του τομέα της υγείας επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συνολική ευημερία ενός έθνους, καθώς η πρόσβαση σε ποιοτικές υπηρεσίες υγείας αποτελεί βασικό παράγοντα κοινωνικής συνοχής και ισότητας.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι ραγδαίες κοινωνικές, δημογραφικές και τεχνολογικές μεταβολές έχουν οδηγήσει στη μετεξέλιξη του συστήματος υγείας από ένα παραδοσιακό, ιατροκεντρικό μοντέλο σε ένα πολυδιάστατο, ασθενοκεντρικό και τεχνολογικά υποστηριζόμενο πλαίσιο. Η αύξηση του προσδόκιμου ζωής, η γήρανση του πληθυσμού, η επιβάρυνση από χρόνιες παθήσεις, καθώς και η πρόοδος στις βιοϊατρικές επιστήμες και στην τεχνητή νοημοσύνη, έχουν αναδιαμορφώσει το περιβάλλον παροχής υγειονομικών υπηρεσιών (OECD, 2021).

Ο χώρος της υγείας δεν αποτελεί έναν ομοιογενή μηχανισμό, αλλά ένα σύνθετο οικοσύστημα θεσμών, επαγγελματιών, τεχνολογιών και πολιτικών, που συνεργάζονται με στόχο τη διατήρηση και προαγωγή της ανθρώπινης ζωής. Η κατανόηση της δομής και των λειτουργιών του συστήματος υγείας είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο οι νέες τεχνολογίες – και ειδικότερα η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ) – μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά και ηθικά στο πεδίο αυτό.

3.3.1 Η Έννοια και η Σημασία της Υγείας

Η έννοια της υγείας έχει απασχολήσει την επιστήμη, τη φιλοσοφία και την κοινωνία διαχρονικά. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) ορίζει την υγεία ως «μια κατάσταση πλήρους σωματικής, ψυχικής και κοινωνικής ευεξίας και όχι απλώς ως απουσία ασθένειας ή αναπηρίας» (WHO, 1948). Ο ορισμός αυτός σηματοδοτεί μια ολιστική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία η υγεία δεν περιορίζεται στη βιολογική διάσταση, αλλά περιλαμβάνει ψυχολογικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η υγεία, επομένως, είναι πολυπαραγοντική:

- Βιολογική, καθώς εξαρτάται από τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού.
- Ψυχολογική, επειδή συνδέεται με την ψυχική ισορροπία και την ευεξία.
- Κοινωνική, αφού επηρεάζεται από τις συνθήκες διαβίωσης, το μορφωτικό επίπεδο και το περιβάλλον του ατόμου.

Αυτή η ευρεία προσέγγιση οδήγησε στη διαμόρφωση του βιοψυχοκοινωνικού μοντέλου υγείας, το οποίο αντικατέστησε σταδιακά το παραδοσιακό βιοϊατρικό μοντέλο που εστίαζε αποκλειστικά στη φυσιολογική λειτουργία του σώματος (Engel, 1977). Στο σύγχρονο πλαίσιο, η υγεία θεωρείται ένα δυναμικό αγαθό, το οποίο μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες ζωής και επηρεάζεται από την κοινωνική πολιτική και τις τεχνολογικές εξελίξεις.

3.3.2 Η Δομή του Τομέα Υγείας

Ο τομέας της υγείας αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα και επιμέρους υποσυστήματα, τα οποία λειτουργούν συμπληρωματικά για την παροχή ολοκληρωμένων υπηρεσιών στον πολίτη.

Πρωτοβάθμια Φροντίδα Υγείας (ΠΦΥ)

Η ΠΦΥ είναι το πρώτο επίπεδο επαφής του πολίτη με το σύστημα υγείας. Παρέχει βασικές υπηρεσίες πρόληψης, εμβολιασμών, διαχείρισης χρόνιων παθήσεων και γενικής ιατρικής φροντίδας (Starfield, 1998). Αποτελεί τον θεμέλιο λίθο κάθε αποτελεσματικού συστήματος, καθώς στοχεύει στην πρόληψη αντί της θεραπείας.

Η σημασία της ΠΦΥ έχει αναδειχθεί ιδιαίτερα μετά την Διακήρυξη της Άλμα-Άτα (WHO, 1978), η οποία τόνισε την ανάγκη καθολικής πρόσβασης στις υπηρεσίες υγείας. Παρά ταύτα, σε πολλές χώρες – μεταξύ αυτών και η Ελλάδα – η ΠΦΥ αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως υποστελέχωση, ελλιπή υποδομή και ανομοιογενή κάλυψη του πληθυσμού.

Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια Φροντίδα

Η δευτεροβάθμια φροντίδα παρέχεται σε νοσοκομεία ή εξειδικευμένα κέντρα και περιλαμβάνει πιο σύνθετες διαγνωστικές και θεραπευτικές υπηρεσίες. Η τριτοβάθμια φροντίδα αφορά εξαιρετικά εξειδικευμένες διαδικασίες, όπως μεταμοσχεύσεις, επεμβάσεις υψηλής

τεχνολογίας και εντατική θεραπεία (Topol, 2019). Η ομαλή διασύνδεση των επιπέδων φροντίδας είναι ζωτικής σημασίας για την αποδοτικότητα του συστήματος.

Φροντίδα Αποκατάστασης και Μακροχρόνιας Περίθαλψης

Η συγκεκριμένη κατηγορία υπηρεσιών απευθύνεται σε ασθενείς που χρειάζονται υποστήριξη για την ανάκτηση της λειτουργικότητας ή την προσαρμογή σε χρόνια προβλήματα υγείας. Περιλαμβάνει φυσικοθεραπεία, εργοθεραπεία, ψυχολογική υποστήριξη και κοινωνική φροντίδα (WHO, 2020).

Ο τομέας της υγείας δεν αποτελεί μόνο έναν θεσμό φροντίδας, αλλά και έναν οικονομικό και κοινωνικό μηχανισμό μεγάλης σημασίας. Αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό του ΑΕΠ στις περισσότερες χώρες και απασχολεί εκατομμύρια επαγγελματίες παγκοσμίως (OECD, 2022). Η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος υγείας επηρεάζει όχι μόνο την ευημερία του πληθυσμού, αλλά και την παραγωγικότητα και ανταγωνιστικότητα της οικονομίας.

Επιπλέον, η υγεία λειτουργεί ως δείκτης κοινωνικής ανισότητας. Η πρόσβαση σε ποιοτικές υπηρεσίες, τα επίπεδα εκπαίδευσης, το εισόδημα και οι συνθήκες εργασίας καθορίζουν σημαντικά τις υγειονομικές επιδόσεις κάθε κοινωνικής ομάδας (Marmot, 2005). Ένα αποτελεσματικό σύστημα υγείας, επομένως, πρέπει να στοχεύει όχι μόνο στην ιατρική φροντίδα, αλλά και στη μείωση των κοινωνικών ανισοτήτων.

3.3.3 Ο Ρόλος της Τεχνολογίας και της Καινοτομίας στην Υγεία

Η τεχνολογία έχει καταστεί καταλύτης αλλαγής στον χώρο της υγείας. Οι πληροφοριακές τεχνολογίες, η βιοϊατρική μηχανική, η τεχνητή νοημοσύνη και η τηλεϊατρική μεταμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο παρέχονται και αξιολογούνται οι υπηρεσίες υγείας.

Η ψηφιοποίηση των ιατρικών δεδομένων μέσω των ηλεκτρονικών φακέλων υγείας (EHRs) έχει βελτιώσει τη συνέχεια της φροντίδας και την ασφάλεια των ασθενών. Οι τηλεϊατρικές εφαρμογές επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, γεγονός που μειώνει το κόστος και ενισχύει την πρόσβαση σε απομακρυσμένες περιοχές (Keesara, Jonas & Schulman, 2020).

Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται για την ανάλυση ιατρικών απεικονίσεων, την πρόγνωση ασθενειών, την εξατομίκευση θεραπειών και τη διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων. Ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών οδηγεί στη διαμόρφωση του μοντέλου της "έξυπνης υγείας" (smart health), όπου η τεχνολογία δεν λειτουργεί ως υποκατάστατο του ανθρώπου, αλλά ως ενισχυτικό εργαλείο στη λήψη αποφάσεων και στη βελτίωση της ποιότητας της φροντίδας (Topol, 2019).

3.3.4 Σύγχρονες Προκλήσεις του Συστήματος Υγείας

Παρά τις τεχνολογικές προόδους, το παγκόσμιο σύστημα υγείας αντιμετωπίζει μια σειρά προκλήσεων:

Γήρανση πληθυσμού και αύξηση χρόνιων νοσημάτων

Η αύξηση του προσδόκιμου ζωής έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο των χρόνιων παθήσεων (διαβήτης, καρδιοπάθειες, άνοια), που απαιτούν συνεχή φροντίδα και υψηλές δαπάνες (OECD, 2021).

Ανισότητες στην πρόσβαση

Οι διαφορές μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών, πλούσιων και φτωχών κρατών, δημιουργούν άνιση κατανομή πόρων και υπηρεσιών (Marmot, 2005).

Οικονομική βιωσιμότητα

Οι αυξανόμενες δαπάνες πιέζουν τα δημόσια συστήματα, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για αποδοτικότερη διαχείριση πόρων μέσω καινοτομίας.

Ασφάλεια και ιδιωτικότητα δεδομένων

Με την εκτεταμένη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών, τα δεδομένα των ασθενών πρέπει να προστατεύονται με αυστηρά πλαίσια ηθικής και νομικής φύσης (Floridi et al., 2018).

Έλλειψη εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού.

Οι σύγχρονες τεχνολογίες απαιτούν νέες δεξιότητες και εκπαίδευση. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης προϋποθέτει τη συνεργασία επαγγελματιών υγείας με ειδικούς πληροφορικής και αναλυτές δεδομένων.

3.3.5 Ο Ανθρώπινος Παράγοντας στην Υγεία

Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας, η ανθρώπινη διάσταση παραμένει αναντικατάστατη. Η σχέση ιατρού–ασθενούς στηρίζεται στην εμπιστοσύνη, την ενσυναίσθηση και την ηθική ευθύνη (Benner, 2001). Η τεχνολογία πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά προς τον άνθρωπο, όχι ως υποκατάστατο της κρίσης και της φροντίδας του.

Η ιατρική, ακόμη και στην εποχή της ψηφιοποίησης, παραμένει ανθρωπιστική επιστήμη. Η φροντίδα απαιτεί επικοινωνία, κατανόηση και συναισθηματική σύνδεση, στοιχεία που καμία μηχανή δεν μπορεί να αναπαράγει πλήρως. Έτσι, το μέλλον του τομέα της υγείας προϋποθέτει ισορροπία μεταξύ τεχνολογικής και ανθρώπινης διάστασης.

Συμπερασματικά ο χώρος της υγείας βρίσκεται σε ένα μεταίχμιο: ανάμεσα στην παραδοσιακή ιατρική πρακτική και στην τεχνολογικά υποστηριζόμενη, εξατομικευμένη φροντίδα. Η κατανόηση της δομής, της σημασίας και των προκλήσεων του τομέα είναι απαραίτητη για να εκτιμηθεί η δυναμική που μπορεί να προσφέρει η τεχνητή νοημοσύνη.

Η υγεία αποτελεί όχι μόνο βιολογική κατάσταση, αλλά πολιτισμικό, κοινωνικό και τεχνολογικό φαινόμενο. Ο τομέας της υγείας καλείται σήμερα να επαναπροσδιορίσει τη φυσιογνωμία του, ενσωματώνοντας την καινοτομία χωρίς να χάσει τον ανθρωπιστικό του πυρήνα. Η ισορροπία ανάμεσα στην τεχνολογική πρόοδο και στις ηθικές αρχές της φροντίδας θα αποτελέσει τη βάση για ένα πιο δίκαιο, αποτελεσματικό και βιώσιμο σύστημα υγείας στο μέλλον.

3.4 Σημαντικά ιστορικά γεγονότα και εξελίξεις που αναβάθμισαν τον χώρο της υγείας

3.4.1. Ανακάλυψη των εμβολίων (18ος–19ος αιώνας)

Η ανακάλυψη και η σταδιακή καθιέρωση των εμβολίων αποτέλεσε μία από τις σημαντικότερες τομές στην ιστορία της ιατρικής και της δημόσιας υγείας. Μέχρι τον 18ο αιώνα, οι λοιμώδεις νόσοι αποτελούσαν κύρια αιτία θανάτου, προκαλώντας επιδημίες με καταστροφικές κοινωνικές και δημογραφικές συνέπειες. Η έλλειψη αποτελεσματικών προληπτικών μέτρων καθιστούσε τους πληθυσμούς ιδιαίτερα ευάλωτους, ιδίως τα παιδιά (Porter, 1999).

Το 1796, ο Άγγλος ιατρός Edward Jenner πραγματοποίησε μια πρωτοποριακή ανακάλυψη, αναπτύσσοντας το πρώτο εμβόλιο κατά της ευλογιάς. Παρατηρώντας ότι οι γαλακτοπαραγωγοί που είχαν νοσήσει από δαμαλίτιδα (cowpox) εμφάνιζαν ανοσία στην ευλογιά, εφάρμοσε με επιτυχία τη μέθοδο του εμβολιασμού, θέτοντας τα θεμέλια της ανοσολογίας (Jenner, 1798). Η πρακτική αυτή διαδόθηκε σταδιακά σε όλη την Ευρώπη και αργότερα παγκοσμίως, οδηγώντας σε εντυπωσιακή μείωση των κρουσμάτων και της θνησιμότητας (Riedel, 2005).

Κατά τον 19ο αιώνα, η πρόοδος της μικροβιολογίας και η συμβολή επιστημόνων όπως ο Louis Pasteur επέτρεψαν την ανάπτυξη νέων εμβολίων για ασθένειες όπως η λύσσα και ο άνθρακας. Ο εμβολιασμός καθιερώθηκε πλέον ως βασικό μέτρο πρόληψης, ενισχύοντας τη δημόσια υγεία και αυξάνοντας το προσδόκιμο ζωής (Pasteur, 1885· Plotkin, 2014). Η κορύφωση αυτής της προσπάθειας σημειώθηκε το 1980, όταν ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανακοίνωσε την πλήρη εξάλειψη της ευλογιάς, γεγονός που αποτελεί μέχρι σήμερα μοναδικό παράδειγμα ολικής εκρίζωσης ανθρώπινης νόσου μέσω εμβολιασμού (WHO, 1980).

Συνολικά, η ανακάλυψη των εμβολίων δεν συνέβαλε μόνο στη μείωση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας, αλλά και στη διαμόρφωση οργανωμένων συστημάτων δημόσιας υγείας, ενισχύοντας την πρόληψη και την υγειονομική ασφάλεια των πληθυσμών σε παγκόσμιο επίπεδο (Plotkin et al., 2017).

3.4.2. Θεμελίωση της μικροβιακής θεωρίας (19ος αιώνας)

Η θεμελίωση της μικροβιακής θεωρίας των ασθενειών κατά τον 19ο αιώνα αποτέλεσε καθοριστικό σημείο καμπής στην ιστορία της ιατρικής και της δημόσιας υγείας. Μέχρι τότε, η επικρατούσα αντίληψη για την αιτιολογία των νόσων βασιζόταν κυρίως στη θεωρία των «μιασμάτων», σύμφωνα με την οποία οι ασθένειες προκαλούνταν από ανθυγιεινούς ατμοσφαιρικούς παράγοντες και κακές οσμές. Η έλλειψη επιστημονικής τεκμηρίωσης αυτών των απόψεων περιόριζε σημαντικά την αποτελεσματικότητα των μέτρων πρόληψης και θεραπείας (Porter, 1999).

Η μικροβιακή θεωρία διαμορφώθηκε μέσα από το έργο σημαντικών επιστημόνων, με κυριότερους τους Louis Pasteur και Robert Koch. Ο Pasteur απέδειξε πειραματικά ότι οι μικροοργανισμοί ευθύνονται για διεργασίες όπως η ζύμωση και η σήψη, καταρρίπτοντας τη θεωρία της αυτόματης γένεσης. Παράλληλα, ανέδειξε τον ρόλο των μικροβίων στην πρόκληση ασθενειών, συμβάλλοντας καθοριστικά στην ανάπτυξη της προληπτικής ιατρικής και της ανοσολογίας (Pasteur, 1861· Debré, 1998).

Ο Robert Koch, από την πλευρά του, προχώρησε ένα βήμα παραπέρα, ταυτοποιώντας συγκεκριμένα παθογόνα μικρόβια ως αιτιολογικούς παράγοντες ασθενειών όπως η φυματίωση, ο άνθρακας και η χολέρα. Μέσα από τη διατύπωση των περίφημων «μεθοδολογικών αξιωμάτων του Koch», κατέστη δυνατή η συστηματική σύνδεση ενός μικροοργανισμού με μια συγκεκριμένη νόσο, θέτοντας τις βάσεις της σύγχρονης βακτηριολογίας (Koch, 1890· Brock, 1999).

Η αποδοχή της μικροβιακής θεωρίας είχε άμεσο και ουσιαστικό αντίκτυπο στις πρακτικές υγείας. Οδήγησε στη βελτίωση των συνθηκών υγιεινής, στην καθιέρωση της αποστείρωσης ιατρικών εργαλείων, στην εφαρμογή αντισηπτικών μεθόδων στα χειρουργεία και στην ανάπτυξη μέτρων πρόληψης των λοιμώξεων σε νοσοκομεία και κοινότητες (Tomes, 1998). Επιπλέον, ενίσχυσε την επιδημιολογική έρευνα και συνέβαλε στη μείωση της ενδονοσοκομειακής θνησιμότητας.

Συνολικά, η μικροβιακή θεωρία αποτέλεσε θεμέλιο λίθο της σύγχρονης ιατρικής επιστήμης, μεταβάλλοντας ριζικά τον τρόπο κατανόησης, πρόληψης και αντιμετώπισης των ασθενειών και συμβάλλοντας ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας και του προσδόκιμου ζωής (Bynum, 2013).

3.4.3. Εισαγωγή της αναισθησίας και της αντισηψίας στη χειρουργική

Η εισαγωγή της αναισθησίας και η ανάπτυξη των αντισηπτικών μεθόδων κατά τον 19ο αιώνα αποτέλεσαν καθοριστικές εξελίξεις που μετέβαλαν ριζικά τη χειρουργική πρακτική. Μέχρι τα μέσα του αιώνα, οι χειρουργικές επεμβάσεις πραγματοποιούνταν χωρίς αποτελεσματική ανακούφιση από τον πόνο, γεγονός που περιόριζε τόσο τη διάρκεια όσο και την πολυπλοκότητά τους, ενώ η μετεγχειρητική θνησιμότητα παρέμενε εξαιρετικά υψηλή λόγω λοιμώξεων (Porter, 1999).

Το 1846 σημειώθηκε ένα ιστορικό ορόσημο με την επιτυχημένη δημόσια επίδειξη της χρήσης αιθέρα ως αναισθητικού στο Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης από τον William T. G. Morton. Η ανακάλυψη αυτή επέτρεψε την ανώδυνη πραγματοποίηση χειρουργικών επεμβάσεων, βελτιώνοντας σημαντικά την εμπειρία των ασθενών και δίνοντας στους χειρουργούς τη δυνατότητα να εκτελούν πιο εκτεταμένες και ακριβείς επεμβάσεις (Wolfe, 2001). Σταδιακά, η αναισθησία καθιερώθηκε ως αναπόσπαστο μέρος της χειρουργικής, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη νέων τεχνικών και ιατρικών ειδικοτήτων.

Παράλληλα, η εφαρμογή της αντισηψίας αποτέλεσε εξίσου σημαντική πρόοδο. Ο Βρετανός χειρουργός Joseph Lister, επηρεασμένος από τη μικροβιακή θεωρία του Louis Pasteur, εισήγαγε τη χρήση καρβολικού οξέος (φαινόλης) για την απολύμανση των χειρουργικών εργαλείων, των τραυμάτων και του χειρουργικού περιβάλλοντος. Η συστηματική εφαρμογή των αντισηπτικών μεθόδων οδήγησε σε εντυπωσιακή μείωση των μετεγχειρητικών λοιμώξεων και της θνησιμότητας, αποδεικνύοντας τη σημασία της πρόληψης των μικροβιακών μολύνσεων (Lister, 1867· Brock, 2013).

Ο συνδυασμός αναισθησίας και αντισηψίας κατέστησε τη χειρουργική ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη, μετατρέποντάς την από πράξη ύστατης ανάγκης σε οργανωμένο και επιστημονικά τεκμηριωμένο κλάδο της ιατρικής. Οι εξελίξεις αυτές έθεσαν τα θεμέλια της

σύγχρονης χειρουργικής πρακτικής και συνέβαλαν καθοριστικά στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και της επιβίωσης των ασθενών (Bynum, 2013).

3.4.4. Ανακάλυψη των αντιβιοτικών (20ός αιώνας)

Η ανακάλυψη των αντιβιοτικών κατά τον 20ό αιώνα αποτέλεσε μία από τις σημαντικότερες επαναστάσεις στη σύγχρονη ιατρική, μεταβάλλοντας ριζικά την αντιμετώπιση των βακτηριακών λοιμώξεων και τη συνολική πορεία της δημόσιας υγείας. Πριν από την εισαγωγή των αντιβιοτικών, ακόμη και σχετικά απλές λοιμώξεις μπορούσαν να αποβούν θανατηφόρες, ενώ οι επιπλοκές από τραύματα και χειρουργικές επεμβάσεις αποτελούσαν συχνή αιτία θανάτου (Porter, 1999).

Το 1928, ο Σκωτσέζος μικροβιολόγος Alexander Fleming ανακάλυψε τυχαία την πενικιλίνη, παρατηρώντας ότι ένας μύκητας του γένους *Penicillium* ανέστειλε την ανάπτυξη βακτηρίων σε καλλιέργειες στο εργαστήριό του. Αν και η αρχική ανακάλυψη δεν αξιοποιήθηκε άμεσα, κατά τη δεκαετία του 1940 η πενικιλίνη αναπτύχθηκε και παρήχθη μαζικά χάρη στο έργο των Howard Florey και Ernst Chain, καθιστώντας δυνατή την ευρεία κλινική της χρήση, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου (Fleming, 1929· Lax, 2004).

Η επιτυχία της πενικιλίνης οδήγησε στην ανακάλυψη και ανάπτυξη πλήθους νέων αντιβιοτικών, όπως οι τετρακυκλίνες, οι κεφαλοσπορίνες και οι μακρολίδες, διευρύνοντας σημαντικά το φάσμα των θεραπεύσιμων λοιμώξεων. Τα αντιβιοτικά συνέβαλαν αποφασιστικά στη μείωση της θνησιμότητας από ασθένειες όπως η πνευμονία, η φυματίωση και η σηψαιμία, ενώ παράλληλα κατέστησαν ασφαλέστερες τις χειρουργικές επεμβάσεις, τις μεταμοσχεύσεις και τη φροντίδα των πρόωρων νεογνών (Aminov, 2010).

Ως αποτέλεσμα, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του προσδόκιμου ζωής και βελτίωση της ποιότητας ζωής των πληθυσμών παγκοσμίως. Παράλληλα, η ευρεία χρήση των αντιβιοτικών ανέδειξε νέες προκλήσεις, όπως η ανάπτυξη μικροβιακής αντοχής, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για ορθολογική χρήση και συνεχή έρευνα (Davies and Davies, 2010). Παρ’ όλα αυτά, η ανακάλυψη των αντιβιοτικών παραμένει θεμέλιος λίθος της σύγχρονης ιατρικής και της επιτυχούς αντιμετώπισης των λοιμωδών νοσημάτων.

3.4.5. Δημιουργία οργανωμένων συστημάτων υγείας και καθολικής κάλυψης

Η δημιουργία οργανωμένων συστημάτων υγείας και η καθιέρωση της καθολικής υγειονομικής κάλυψης κατά τον 20ό αιώνα αποτέλεσαν καθοριστική εξέλιξη για τη βελτίωση της δημόσιας υγείας και της κοινωνικής ευημερίας. Μέχρι τις αρχές του αιώνα, η πρόσβαση στις υπηρεσίες υγείας εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική δυνατότητα του ατόμου, με αποτέλεσμα σημαντικές ανισότητες στη φροντίδα και στα επίπεδα υγείας των πληθυσμών (Porter, 1999).

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης του κοινωνικού κράτους, πολλά κράτη προχώρησαν στη θεσμοθέτηση εθνικών συστημάτων υγείας, με στόχο την παροχή ολοκληρωμένων υπηρεσιών πρόληψης, διάγνωσης, θεραπείας και αποκατάστασης σε όλους τους πολίτες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ίδρυση του National Health Service (NHS) στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1948, το οποίο βασίστηκε στις αρχές της καθολικής κάλυψης, της δωρεάν παροχής υπηρεσιών στο σημείο χρήσης και της χρηματοδότησης μέσω της φορολογίας. Το NHS αποτέλεσε πρότυπο για την ανάπτυξη αντίστοιχων συστημάτων υγείας σε πολλές χώρες, επηρεάζοντας βαθιά τη μεταπολεμική κοινωνική πολιτική στην Ευρώπη (Beveridge, 1942· Bynum, 2013).

Η καθιέρωση οργανωμένων συστημάτων υγείας συνέβαλε ουσιαστικά στη βελτίωση των δεικτών υγείας, όπως η μείωση της παιδικής θνησιμότητας, η αύξηση του προσδόκιμου ζωής και ο καλύτερος έλεγχος των χρόνιων και λοιμωδών νοσημάτων. Παράλληλα, ενίσχυσε την πρόληψη και την πρωτοβάθμια φροντίδα υγείας, περιορίζοντας τις κοινωνικές και υγειονομικές ανισότητες και προάγοντας τη συνοχή των κοινωνιών (Marmot, 2005).

Η καθολική υγειονομική κάλυψη αναγνωρίζεται πλέον διεθνώς ως βασικός δείκτης κοινωνικής και υγειονομικής προόδου και ως θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας τονίζει ότι η ισότιμη πρόσβαση σε ποιοτικές υπηρεσίες υγείας, χωρίς οικονομική επιβάρυνση, αποτελεί προϋπόθεση για τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πληθυσμών (WHO, 2010). Συνεπώς, η δημιουργία οργανωμένων συστημάτων υγείας αποτελεί μία από τις σημαντικότερες κατακτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας.

3.4.6. Ψηφιακή υγεία και τεχνολογικές καινοτομίες (21ος αιώνας)

Κατά τον 21ο αιώνα, η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τομέα της υγείας, οδηγώντας στη διαμόρφωση της λεγόμενης ψηφιακής υγείας (*digital health*). Η αξιοποίηση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στις υπηρεσίες υγείας έχει αναβαθμίσει την ποιότητα, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα της παρεχόμενης φροντίδας, μετασχηματίζοντας τον τρόπο οργάνωσης και λειτουργίας των συστημάτων υγείας (WHO, 2019).

Η εισαγωγή των ηλεκτρονικών φακέλων ασθενών αποτέλεσε μία από τις σημαντικότερες καινοτομίες, επιτρέποντας τη συστηματική καταγραφή, αποθήκευση και ανταλλαγή ιατρικών δεδομένων. Η ψηφιοποίηση των πληροφοριών διευκολύνει τη συνέχεια της φροντίδας, μειώνει τα ιατρικά σφάλματα και ενισχύει τον συντονισμό μεταξύ των επαγγελματιών υγείας. Παράλληλα, συμβάλλει στη βελτίωση της κλινικής λήψης αποφάσεων και στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των υγειονομικών πόρων (Bates et al., 2014).

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η ανάπτυξη της τηλεϊατρικής, η οποία επιτρέπει την παροχή ιατρικών υπηρεσιών από απόσταση μέσω ψηφιακών μέσων. Η τηλεϊατρική έχει βελτιώσει την πρόσβαση στη φροντίδα υγείας για πληθυσμούς που κατοικούν σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές, ενώ αποδείχθηκε καθοριστική κατά τη διάρκεια υγειονομικών κρίσεων, όπως η πανδημία COVID-19. Μέσω της εξ αποστάσεως παρακολούθησης και συμβουλευτικής, ενισχύεται η διαχείριση χρόνιων νοσημάτων και μειώνεται η ανάγκη φυσικής παρουσίας στα νοσοκομεία (Wootton, 2012· Smith et al., 2020).

Επιπλέον, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης και της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (*big data*) έχει ανοίξει νέες προοπτικές στη διάγνωση, την πρόγνωση και την εξατομικευμένη ιατρική. Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση απεικονιστικών εξετάσεων, την έγκαιρη ανίχνευση ασθενειών και τη βελτιστοποίηση των θεραπευτικών παρεμβάσεων. Οι τεχνολογικές αυτές καινοτομίες ενισχύουν την ακρίβεια της ιατρικής πράξης και συμβάλλουν στη βελτίωση των κλινικών αποτελεσμάτων (Topol, 2019).

Συνολικά, η ψηφιακή υγεία αποτελεί βασικό πυλώνα της σύγχρονης υγειονομικής φροντίδας, προάγοντας την καινοτομία, την ισότιμη πρόσβαση και τη βιωσιμότητα των συστημάτων υγείας. Παρά τις προκλήσεις που σχετίζονται με την προστασία των προσωπικών δεδομένων και την ψηφιακή ανισότητα, οι τεχνολογικές εξελίξεις διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της υγείας των πληθυσμών σε παγκόσμιο επίπεδο (OECD, 2020).

Κεφάλαιο 4:

Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον Χώρο της Υγείας – Εφαρμογές

4.1 Εισαγωγή

Η υγειονομική περίθαλψη βιώνει μία από τις μεγαλύτερες τεχνολογικές μεταμορφώσεις των τελευταίων δεκαετιών, χάρη στην ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ). Η ΤΝ δίνει τη δυνατότητα σε συστήματα να αναλύουν τεράστια δεδομένα, να εντοπίζουν μοτίβα και να παρέχουν προγνωστικές ή υποστηρικτικές αποφάσεις με υψηλή ακρίβεια (Topol, 2019).

Η μεταμόρφωση αυτή δεν περιορίζεται στην τεχνολογική πλευρά· έχει βαθύ αντίκτυπο στην κλινική πρακτική, τη διοίκηση, την εκπαίδευση και τη διαχείριση των ασθενών. Οι εφαρμογές της ΤΝ ποικίλλουν από την έγκαιρη διάγνωση ασθενειών έως την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπειών, ενώ ταυτόχρονα ανοίγουν νέες προοπτικές στην ιατρική έρευνα και στην εκπαίδευση του προσωπικού υγείας.

4.2 Ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Υγεία

Η ΤΝ στον τομέα της υγείας ορίζεται ως η ικανότητα υπολογιστικών συστημάτων να εκτελούν εργασίες που απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως ανάλυση ιατρικών δεδομένων, διάγνωση, πρόβλεψη ασθενειών και υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων (Russell & Norvig, 2021).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ) έχει αρχίσει να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αναδιάρθρωση και τον εκσυγχρονισμό του τομέα της υγείας, παρέχοντας νέες δυνατότητες για διάγνωση, πρόληψη, θεραπεία και διοίκηση υπηρεσιών. Οι εφαρμογές της καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από τη διαγνωστική ιατρική και την ανάλυση δεδομένων μέχρι τη ρομποτική χειρουργική και την προσωποποιημένη φροντίδα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών.

4.3 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Διαχείριση Νοσοκομείων

Η διαχείριση νοσοκομείων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ), καθώς οι σύγχρονες τεχνολογίες συμβάλλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας, της ακρίβειας στον προγραμματισμό και της

συνολικής ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας. Μέσω της ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων και της ανίχνευσης προτύπων, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν την ορθολογική κατανομή των διαθέσιμων πόρων, τη μείωση των χρόνων αναμονής και την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ροής των ασθενών εντός των νοσοκομειακών μονάδων. Ενδεικτικά, σύμφωνα με τους Yu et al. (2018), αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης πέτυχαν ποσοστό ακρίβειας που αγγίζει το 90% στην πρόβλεψη της πληρότητας των νοσοκομειακών κλινών, γεγονός που συνέβαλε στη βελτιωμένη οργάνωση της περίθαλψης και στη μείωση της πίεσης στις κρίσιμες μονάδες.

Ιδιαίτερη σημασία στη διοίκηση των νοσοκομείων έχει η αυτοματοποίηση σύνθετων διαδικασιών, όπως ο προγραμματισμός χειρουργείων, η κατανομή χειρουργικών αιθουσών και η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα “Command Center” του Πανεπιστημίου Johns Hopkins, το οποίο αξιοποιεί εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης για την παρακολούθηση και ανάλυση της χρήσης των πόρων σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή αυτή οδήγησε σε μείωση του χρόνου αναμονής των ασθενών κατά περίπου 60%, ενώ παράλληλα επέφερε σημαντική οικονομική εξοικονόμηση σε ετήσια βάση (IBM, 2021). Επιπλέον, τέτοιου είδους τεχνολογίες αποδείχθηκαν ιδιαίτερα κρίσιμες κατά τη διάρκεια υγειονομικών κρίσεων, όπως η πανδημία COVID-19, καθώς ενίσχυσαν την ικανότητα πρόβλεψης της ζήτησης για υπηρεσίες υγείας.

Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη της ζήτησης υγειονομικών υπηρεσιών προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδίως σε περιόδους αυξημένης επιβάρυνσης των συστημάτων υγείας. Σύμφωνα με τη μελέτη των Keesara et al. (2020), τα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προβλέψουν με υψηλό βαθμό ακρίβειας τον αριθμό των εισαγωγών σε μονάδες εντατικής θεραπείας, επιτρέποντας στα νοσοκομεία να προγραμματίζουν αποτελεσματικότερα τη διάθεση εξοπλισμού και ανθρώπινου δυναμικού. Παράλληλα, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλουν στη μείωση των ανθρώπινων σφαλμάτων, ενισχύοντας τη συνέπεια και την αξιοπιστία στη λήψη κρίσιμων διοικητικών αποφάσεων.

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση νοσοκομείων συνοδεύεται από ορισμένες προκλήσεις. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα αφορά την ποιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για

την εκπαίδευση των αλγορίθμων. Όπως επισημαίνουν οι Obermeyer et al. (2019), η ύπαρξη μεροληψίας στα δεδομένα μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις των αναγκών συγκεκριμένων ομάδων ασθενών, με αποτέλεσμα ανισότητες στην παροχή φροντίδας. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η διασφάλιση ότι τα δεδομένα είναι αξιόπιστα, πλήρη και απαλλαγμένα από προκαταλήψεις, ώστε να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα και η δικαιοσύνη των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης.

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα αφορά την εκπαίδευση και την εξοικείωση του υγειονομικού προσωπικού με τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης. Παρόλο που τα συστήματα αυτά μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα των νοσοκομείων, η περιορισμένη κατανόηση ή η έλλειψη εμπιστοσύνης από τους επαγγελματίες υγείας ενδέχεται να περιορίσει την αξιοποίησή τους. Για τον λόγο αυτό, η εκπαίδευση στην ανάλυση δεδομένων και στη χρήση εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης θα πρέπει να ενσωματωθεί τόσο στην αρχική εκπαίδευση όσο και στα προγράμματα διαρκούς επιμόρφωσης του προσωπικού υγείας (Morley et al., 2020).

Συμπερασματικά, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της διαχείρισης των νοσοκομείων, προσφέροντας λύσεις που ενισχύουν τη λήψη αποφάσεων, τη βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων και την παροχή ποιοτικότερων υπηρεσιών υγείας. Παράλληλα, παραμένουν προκλήσεις που σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων, την αποδοχή των νέων τεχνολογιών από το ανθρώπινο δυναμικό και τη διαχείριση ηθικών ζητημάτων. Η επιτυχής ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στο μέλλον προϋποθέτει τη συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών υγείας, ερευνητών και φορέων χάραξης πολιτικής, με στόχο τη δημιουργία βιώσιμων, δίκαιων και ηθικά υπεύθυνων συστημάτων υγείας.

4.4 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Ιατρική διάγνωση και πρόγνωση ασθενειών

Η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ) έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τομέα της ιατρικής διάγνωσης και πρόγνωσης ασθενειών, εισάγοντας προηγμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων και αυτοματοποίησης κλινικών διαδικασιών. Κεντρικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση διαδραματίζουν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, οι οποίοι επιτρέπουν την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων υγείας και τη δημιουργία μοντέλων που υποστηρίζουν ταχύτερες και ακριβέστερες διαγνωστικές αποφάσεις. Όπως επισημαίνουν οι Yu et al. (2018), η

εφαρμογή μεθόδων μηχανικής μάθησης στην ανάλυση ηλεκτροκαρδιογραφημάτων έχει επιτύχει ποσοστά ακρίβειας που φτάνουν έως και το 95% στην ανίχνευση καρδιακών αρρυθμιών, ενισχύοντας σημαντικά την έγκαιρη διάγνωση.

Παράλληλα, η βαθιά μάθηση και ειδικότερα τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks – CNNs) έχουν καθιερωθεί ως βασικά εργαλεία στην ανάλυση ιατρικών απεικονίσεων, όπως ακτινογραφίες, αξονικές και μαγνητικές τομογραφίες. Σύμφωνα με τη μελέτη των McKinney et al. (2020), ένα σύστημα βαθιάς μάθησης για την ανίχνευση καρκίνου του μαστού παρουσίασε διαγνωστική απόδοση αντίστοιχη ή και ανώτερη από εκείνη έμπειρων ακτινολόγων. Τα αποτελέσματα αυτά αναδεικνύουν τη συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης στη βελτίωση της ακρίβειας των διαγνώσεων και στη μείωση των περιπτώσεων λανθασμένης εκτίμησης.

Εκτός από τη διάγνωση, η τεχνητή νοημοσύνη έχει βρει εκτεταμένη εφαρμογή και στην πρόγνωση της εξέλιξης ασθενειών. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων από ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας, τα συστήματα ΤΝ μπορούν να εντοπίζουν ασθενείς υψηλού κινδύνου και να υποστηρίζουν την εξατομίκευση των θεραπευτικών παρεμβάσεων. Ενδεικτικά, η έρευνα των Rajkomar et al. (2018) έδειξε ότι μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης ήταν σε θέση να προβλέψουν την ενδονοσοκομειακή θνησιμότητα με ακρίβεια περίπου 87%. Αντίστοιχες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί και στον τομέα της καρδιολογίας, συμβάλλοντας στην πρόβλεψη καρδιαγγειακών επεισοδίων και στη βελτιστοποίηση της παρακολούθησης των ασθενών.

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στη διάγνωση και την πρόγνωση συνοδεύεται από ουσιώδεις προκλήσεις. Ένα από τα κυριότερα ζητήματα αφορά την ποιότητα, την πληρότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των αλγορίθμων. Η ύπαρξη μεροληπτικών ή ελλιπών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβείς προβλέψεις και άνιση παροχή φροντίδας. Όπως καταδεικνύει η μελέτη των Obermeyer et al. (2019), ένας αλγόριθμος πρόβλεψης υγειονομικών αναγκών υπερεκτιμούσε τις ανάγκες ασθενών από κοινωνικοοικονομικά προνομιούχες περιοχές, παραβλέποντας κρίσιμους κοινωνικούς παράγοντες υγείας. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για τη χρήση δεδομένων υψηλής ποιότητας και ποικιλομορφίας.

Ένα ακόμη σημαντικό εμπόδιο αφορά τη διαφάνεια των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, γνωστή και ως πρόβλημα του «μαύρου κουτιού». Η δυσκολία κατανόησης του τρόπου με τον οποίο οι αλγόριθμοι καταλήγουν σε συγκεκριμένες αποφάσεις ενδέχεται να περιορίσει την εμπιστοσύνη των επαγγελματιών υγείας στη χρήση τους. Στο πλαίσιο αυτό, οι προσεγγίσεις της εξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης (explainable AI) στοχεύουν στη βελτίωση της διαφάνειας και της ερμηνευσιμότητας των μοντέλων, διευκολύνοντας την αποδοχή τους στην κλινική πράξη (Morley et al., 2020).

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η ηθική διάσταση της εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της υγείας, ιδίως όσον αφορά τη διαχείριση ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων. Η συλλογή και η επεξεργασία δεδομένων υγείας εγείρουν σοβαρά ζητήματα προστασίας της ιδιωτικότητας και ασφάλειας των πληροφοριών. Ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) θέτει αυστηρές προϋποθέσεις για τη νόμιμη χρήση των δεδομένων αυτών, ωστόσο η εφαρμογή του παρουσιάζει διαφοροποιήσεις μεταξύ χωρών και οργανισμών, δημιουργώντας προκλήσεις για την ομοιόμορφη συμμόρφωση (Shabani and Marelli, 2022).

Συνοψίζοντας, η τεχνητή νοημοσύνη διαθέτει σημαντικές προοπτικές για τη βελτίωση της ιατρικής διάγνωσης και πρόγνωσης ασθενειών, συμβάλλοντας στην αναβάθμιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας. Η αποτελεσματική αξιοποίησή της, ωστόσο, προϋποθέτει τη διασφάλιση αξιόπιστων δεδομένων, την ενίσχυση της διαφάνειας των αλγορίθμων και την αυστηρή τήρηση των ηθικών και νομικών πλαισίων. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση πιο αποδοτικών, ασφαλών και δίκαιων συστημάτων υγειονομικής φροντίδας.

4.5 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Προσωποποιημένη και Προβλεπτική Ιατρική

Η προσωποποιημένη φροντίδα ασθενών αποτελεί έναν από τους πλέον δυναμικά αναπτυσσόμενους τομείς της σύγχρονης ιατρικής, καθώς εστιάζει στην παροχή θεραπευτικών παρεμβάσεων προσαρμοσμένων στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ατόμου. Ο όρος αναφέρεται στη χρήση εξατομικευμένων δεδομένων, όπως γενετικές πληροφορίες, κλινικό ιστορικό και περιβαλλοντικοί παράγοντες, με στόχο τη βελτιστοποίηση της διάγνωσης, της θεραπείας και της πρόγνωσης ασθενειών (Topol, 2019). Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ) διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς επιτρέπει την ανάλυση μεγάλων και

σύνθετων συνόλων δεδομένων και τη δημιουργία προβλεπτικών μοντέλων που υποστηρίζουν την κλινική λήψη αποφάσεων.

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στην προσωποποιημένη φροντίδα είναι η φαρμακογονιδιωματική, η οποία εξετάζει τη σχέση μεταξύ γενετικών χαρακτηριστικών και της ανταπόκρισης του οργανισμού στη φαρμακευτική αγωγή. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης καθίσταται δυνατή η επεξεργασία γενετικών δεδομένων και η πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας ή των πιθανών ανεπιθύμητων ενεργειών διαφορετικών φαρμάκων. Σύμφωνα με τους Beam και Kohane (2020), η αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογιών συνέβαλε στη μείωση των ανεπιθύμητων ενεργειών κατά περίπου 30%, διευκολύνοντας την επιλογή της πλέον κατάλληλης θεραπείας για κάθε ασθενή. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των θεραπειών, αναδεικνύοντας τη συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης στην εξατομίκευση της ιατρικής φροντίδας.

Η προσωποποιημένη φροντίδα επεκτείνεται επίσης στη διαχείριση χρόνιων νοσημάτων, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης και οι καρδιαγγειακές παθήσεις, προσφέροντας νέες δυνατότητες για πιο στοχευμένες και αποδοτικές παρεμβάσεις. Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύουν δεδομένα από ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας και να προβλέπουν την εξέλιξη της νόσου ή την απόκριση σε διαφορετικές θεραπευτικές επιλογές, επιτρέποντας την έγκαιρη προσαρμογή της αγωγής και τη μείωση των επιπλοκών. Ενδεικτικά, πλατφόρμες όπως το IBM Watson Health χρησιμοποιούνται για την παροχή εξατομικευμένων συστάσεων φροντίδας σε ασθενείς με χρόνιες παθήσεις, αξιοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (IBM, 2021).

Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλει καθοριστικά στην προσωποποιημένη φροντίδα μέσω της ανάλυσης ιατρικών απεικονίσεων. Οι τεχνικές βαθιάς μάθησης έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην ανίχνευση πρώιμων ή υποκλινικών ενδείξεων σοβαρών παθήσεων, όπως ο καρκίνος, επιτρέποντας την προσαρμογή των θεραπευτικών στρατηγικών στις ανάγκες του κάθε ασθενούς. Σύμφωνα με τους McKinney et al. (2020), συστήματα βαθιάς μάθησης εντόπισαν πρώιμα στάδια καρκίνου του μαστού με ακρίβεια που αγγίζει το 91%, γεγονός που ενισχύει τη δυνατότητα εφαρμογής πιο στοχευμένων και αποτελεσματικών θεραπειών.

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στην προσωποποιημένη φροντίδα ασθενών συνοδεύεται από ουσιαστικές προκλήσεις. Ένα από τα βασικότερα ζητήματα αφορά τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων υγείας, τα οποία συχνά περιλαμβάνουν ιδιαίτερα ευαίσθητες προσωπικές πληροφορίες. Η διασφάλιση της ιδιωτικότητας των ασθενών και η συμμόρφωση με το ισχύον νομικό πλαίσιο, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR), αποτελούν κρίσιμες προϋποθέσεις για την ασφαλή αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών. Όπως υπογραμμίζουν οι Shabani και Marelli (2022), η χρήση τεχνητής νοημοσύνης στην επεξεργασία δεδομένων υγείας απαιτεί αυστηρά μέτρα ασφάλειας και σαφή πρωτόκολλα διακυβέρνησης δεδομένων.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στην καθημερινή κλινική πρακτική συναντά συχνά αντιστάσεις από τους επαγγελματίες υγείας, ιδίως όταν οι αλγόριθμοι στερούνται επαρκούς διαφάνειας. Η αδυναμία κατανόησης του τρόπου με τον οποίο παράγονται οι συστάσεις των συστημάτων μπορεί να περιορίσει την εμπιστοσύνη στη χρήση τους. Η ανάπτυξη προσεγγίσεων εξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης (explainable AI) στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, ενισχύοντας τη διαφάνεια και διευκολύνοντας την αποδοχή των τεχνολογιών αυτών από τους χρήστες (Morley et al., 2020).

Συμπερασματικά, η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στην προσωποποιημένη φροντίδα ασθενών δύναται να βελτιώσει ουσιαστικά την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας, μειώνοντας τα σφάλματα και αυξάνοντας την αποδοτικότητα των θεραπευτικών παρεμβάσεων. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών προϋποθέτει στενή συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών υγείας, ειδικών στην ανάλυση δεδομένων και φορέων χάραξης πολιτικής, με στόχο τη δημιουργία ενός πλαισίου που θα συνδυάζει την καινοτομία με την ηθική υπευθυνότητα και τη συμμόρφωση με το νομικό πλαίσιο. Μια τέτοια προσέγγιση είναι καθοριστικής σημασίας για τη βιώσιμη και δίκαιη εφαρμογή της προσωποποιημένης φροντίδας στο σύγχρονο σύστημα υγείας.

4.6 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Ρομποτική Χειρουργική και Αυτοματοποιημένα Συστήματα Υποστήριξης

Η ρομποτική χειρουργική, σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ), έχει επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές στη σύγχρονη χειρουργική πρακτική, βελτιώνοντας την ακρίβεια των επεμβάσεων, περιορίζοντας τον χρόνο αποκατάστασης και ενισχύοντας τα μετεγχειρητικά αποτελέσματα. Κεντρικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση διαδραματίζουν συστήματα ρομποτικής υποβοήθησης, όπως το Da Vinci, τα οποία αξιοποιούν αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης για την υποστήριξη και πρόβλεψη των κινήσεων του χειρουργού, προσφέροντας αυξημένο έλεγχο και υψηλής ανάλυσης οπτική απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου (Herron, 2020). Η περιορισμένη ανθρώπινη παρέμβαση που επιτυγχάνεται μέσω της ρομποτικής τεχνολογίας συμβάλλει στη μείωση των επιπλοκών, ιδιαίτερα σε σύνθετες και απαιτητικές επεμβάσεις.

Ερευνητικά δεδομένα υποστηρίζουν την υπεροχή της ρομποτικά υποβοηθούμενης χειρουργικής σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Σύμφωνα με τους Hung et al. (2018), οι χειρουργικές επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ρομποτικών συστημάτων παρουσίασαν ποσοστά σφαλμάτων μειωμένα κατά περίπου 30%, γεγονός που καταδεικνύει τη συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης στη βελτίωση της ασφάλειας των ασθενών. Επιπλέον, η αυξημένη ακρίβεια και σταθερότητα των ρομποτικών συστημάτων καθιστούν εφικτή την εκτέλεση ελάχιστα επεμβατικών τεχνικών, οι οποίες σχετίζονται με μικρότερη διάρκεια νοσηλείας, ταχύτερη ανάρρωση και μειωμένο κίνδυνο μετεγχειρητικών λοιμώξεων.

Σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των χειρουργικών αποτελεσμάτων διαδραματίζουν και οι υποστηρικτικές τεχνολογίες, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality – AR). Μέσω της ενσωμάτωσης τρισδιάστατων απεικονίσεων ανατομικών δομών στο χειρουργικό πεδίο, οι χειρουργοί αποκτούν πληρέστερη αντίληψη της ανατομίας του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που διευκολύνει την εκτέλεση πολύπλοκων επεμβάσεων (Katić et al., 2021). Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα Medivis SurgicalAR, το οποίο αξιοποιεί αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία δεδομένων απεικόνισης, παρέχοντας ένα εικονικό περιβάλλον πλοήγησης κατά τη διάρκεια της χειρουργικής διαδικασίας.

Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλει σημαντικά και στην εκπαίδευση των χειρουργών μέσω της ανάπτυξης προηγμένων προσομοιωτών. Οι προσομοιωτές αυτοί ενσωματώνουν τεχνικές μηχανικής μάθησης, παρέχοντας εξατομικευμένη ανατροφοδότηση με βάση την ανάλυση των κινήσεων και των δεξιοτήτων του χειρουργού. Σύμφωνα με τους Richstone et al. (2018), η χρήση τέτοιων συστημάτων οδηγεί σε ταχύτερη απόκτηση δεξιοτήτων και μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την εκπαίδευση νέων χειρουργών. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αξιολογούν αντικειμενικά την απόδοση των χειρουργών, εντοπίζοντας σημεία προς βελτίωση και συμβάλλοντας στη συνεχή αναβάθμιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η ευρεία εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής συνοδεύεται από ορισμένες προκλήσεις. Ένα από τα κυριότερα εμπόδια αποτελεί το υψηλό κόστος των ρομποτικών συστημάτων, το οποίο περιορίζει την πρόσβαση σε προηγμένες χειρουργικές τεχνολογίες, ιδιαίτερα σε χώρες με περιορισμένους οικονομικούς πόρους (Kim et al., 2019). Το γεγονός αυτό ενδέχεται να εντείνει τις ανισότητες στην παροχή υγειονομικής φροντίδας. Επιπλέον, η αυξανόμενη εξάρτηση από αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης εγείρει ζητήματα διαφάνειας και αξιοπιστίας, καθώς η δυσκολία κατανόησης των διαδικασιών λήψης αποφάσεων μπορεί να μειώσει την εμπιστοσύνη τόσο των επαγγελματιών υγείας όσο και των ασθενών.

Η ανάγκη αντιμετώπισης της λεγόμενης «μαύρης κουτί» φύσης των αλγορίθμων καθιστά επιτακτική την ανάπτυξη τεχνολογιών εξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης (explainable AI), οι οποίες στοχεύουν στη βελτίωση της ερμηνευσιμότητας και της διαφάνειας των συστημάτων (Morley et al., 2020). Παράλληλα, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στη χειρουργική πρακτική απαιτεί σαφή και αποτελεσματικά κανονιστικά πλαίσια που θα διασφαλίζουν την ασφάλεια και την ποιότητα των εφαρμογών. Αν και ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) θέτει αυστηρούς κανόνες για τη χρήση προσωπικών δεδομένων, η εφαρμογή του παραμένει σύνθετη, ιδίως σε περιβάλλοντα διασυνοριακής συνεργασίας ή χρήσης δεδομένων από ρομποτικά συστήματα (Shabani and Marelli, 2022).

Συμπερασματικά, η ρομποτική χειρουργική, σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και τις υποστηρικτικές εφαρμογές, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο εκσυγχρονισμού της χειρουργικής πρακτικής. Η περαιτέρω εξέλιξή της εξαρτάται από τη

μείωση του κόστους, την ενίσχυση της διαφάνειας μέσω εξηγήσιμων αλγορίθμων και τη δημιουργία ενός σταθερού κανονιστικού πλαισίου που θα εξισορροπεί την καινοτομία με την ηθική και νομική συμμόρφωση. Οι παράγοντες αυτοί είναι καθοριστικοί για την αποτελεσματική, ασφαλή και δίκαιη ενσωμάτωση της ρομποτικής χειρουργικής στα σύγχρονα συστήματα υγείας.

4.7 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Τηλεϊατρική, Εικονικοί Βοηθοί και Παρακολούθηση Ασθενών

Η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ) έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της τηλεϊατρικής, ενισχύοντας την παροχή υπηρεσιών υγείας εξ αποστάσεως και βελτιώνοντας την παρακολούθηση και υποστήριξη των ασθενών. Η τηλεϊατρική, σε συνδυασμό με ευφυή συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, επιτρέπει τη συνεχή επικοινωνία μεταξύ ασθενών και επαγγελματιών υγείας, μειώνοντας την ανάγκη φυσικής παρουσίας στις υγειονομικές δομές και βελτιώνοντας την προσβασιμότητα στις υπηρεσίες φροντίδας, ιδιαίτερα για άτομα που διαμένουν σε απομακρυσμένες περιοχές ή πάσχουν από χρόνιες παθήσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, οι εικονικοί βοηθοί υγείας, όπως τα chatbots και οι φωνητικοί ψηφιακοί βοηθοί, αποτελούν βασικά εργαλεία υποστήριξης των ασθενών. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούν αλγορίθμους φυσικής γλώσσας και μηχανικής μάθησης για την παροχή εξατομικευμένων οδηγιών, την υπενθύμιση λήψης φαρμάκων και την απάντηση σε συχνά ιατρικά ερωτήματα. Παράλληλα, επιτρέπουν τη συνεχή συλλογή δεδομένων σχετικά με την κατάσταση της υγείας του ασθενούς, συμβάλλοντας στην έγκαιρη αναγνώριση πιθανών επιδεινώσεων και στη βελτίωση της διαχείρισης χρόνιων νοσημάτων, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης και οι καρδιοπάθειες.

Ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, οι τεχνολογίες τηλεϊατρικής και οι εικονικοί βοηθοί υγείας αξιοποιήθηκαν εκτεταμένα για την αντιμετώπιση της αυξημένης πίεσης στα συστήματα υγείας. Όπως αναφέρουν οι Vaishya et al. (2020), οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιήθηκαν για τον προκαταρκτικό έλεγχο συμπτωμάτων, την παρακολούθηση ατόμων σε καραντίνα και την παροχή τηλεσυμβουλευτικής, περιορίζοντας τον συνωστισμό στα νοσοκομεία και μειώνοντας τον κίνδυνο μετάδοσης του ιού. Οι τεχνολογίες αυτές συνέβαλαν στη διατήρηση της συνέχειας της φροντίδας, ακόμη και σε συνθήκες υγειονομικής κρίσης.

Παράλληλα, σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη τηλεϊατρική διαδραματίζουν οι φορητές συσκευές παρακολούθησης υγείας (wearables), οι οποίες ενσωματώνουν αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης για τη συλλογή και ανάλυση βιομετρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Συσκευές όπως έξυπνα ρολόγια και αισθητήρες υγείας μπορούν να καταγράφουν ζωτικά σημεία, όπως τον καρδιακό ρυθμό, την αρτηριακή πίεση, τα επίπεδα οξυγόνου στο αίμα και τη σωματική δραστηριότητα. Μέσω της συνεχούς ανάλυσης αυτών των δεδομένων, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης είναι σε θέση να εντοπίζουν ανωμαλίες και να ειδοποιούν έγκαιρα τόσο τους ασθενείς όσο και τους επαγγελματίες υγείας, επιτρέποντας την άμεση παρέμβαση και μειώνοντας τον κίνδυνο σοβαρών επιπλοκών.

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην τηλεϊατρική και στην εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών συμβάλλει ουσιαστικά στη μετάβαση από ένα αντιδραστικό μοντέλο φροντίδας σε ένα προληπτικό και συνεχές σύστημα υγείας. Η δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης μεταβολών στην υγεία του ασθενούς ενισχύει την πρόληψη και βελτιώνει τη μακροπρόθεσμη διαχείριση των ασθενειών, μειώνοντας παράλληλα το κόστος περίθαλψης και τις εισαγωγές σε νοσοκομεία.

Ωστόσο, η ευρεία εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών συνοδεύεται και από προκλήσεις, όπως η προστασία των προσωπικών δεδομένων υγείας, η αξιοπιστία των συστημάτων και η ανάγκη ψηφιακής εκπαίδευσης τόσο των ασθενών όσο και των επαγγελματιών υγείας. Η συμμόρφωση με το ισχύον νομικό και ηθικό πλαίσιο, σε συνδυασμό με τη συνεχή αξιολόγηση της ακρίβειας και της ασφάλειας των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης, αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή και βιώσιμη ενσωμάτωση της τηλεϊατρικής στα σύγχρονα συστήματα υγείας.

Συμπερασματικά, η τεχνητή νοημοσύνη έχει αναβαθμίσει σημαντικά την τηλεϊατρική, τους εικονικούς βοηθούς και τα συστήματα παρακολούθησης ασθενών, προσφέροντας νέες δυνατότητες για συνεχή, εξατομικευμένη και προληπτική φροντίδα. Η περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίηση των τεχνολογιών αυτών αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση πιο αποδοτικών, προσβάσιμων και ανθεκτικών συστημάτων υγείας στο μέλλον.

4.8 Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης - Φαρμακευτική Έρευνα και Ανάπτυξη Θεραπειών

Η φαρμακευτική έρευνα και ανάπτυξη αποτελεί έναν από τους πλέον δυναμικούς και στρατηγικούς τομείς εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ), καθώς οι σύγχρονες τεχνολογίες συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση του χρόνου και του κόστους που απαιτούνται για την ανακάλυψη και την ανάπτυξη νέων φαρμάκων. Παραδοσιακά, η διαδικασία ανάπτυξης ενός φαρμάκου είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και δαπανηρή, συχνά διαρκώντας πάνω από μία δεκαετία και απαιτώντας σημαντικούς οικονομικούς πόρους. Η ενσωμάτωση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τεχνικών βαθιάς μάθησης έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίσει το συγκεκριμένο πεδίο, επιτρέποντας την ταχύτερη ανάλυση πολύπλοκων βιολογικών δεδομένων και την αποτελεσματικότερη λήψη ερευνητικών αποφάσεων.

Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιείται εκτενώς για την αναγνώριση και αξιολόγηση νέων φαρμακευτικών μορίων με υψηλή θεραπευτική δυναμική. Μέσω υπολογιστικών προσομοιώσεων και μοντέλων μηχανικής μάθησης, καθίσταται δυνατή η πρόβλεψη των χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων υποψήφιων ενώσεων, καθώς και των πιθανών αλληλεπιδράσεών τους με βιολογικούς στόχους. Όπως επισημαίνουν οι Vamathevan et al. (2019), η χρήση τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει τον ταχύτερο εντοπισμό μορίων με αυξημένη αποτελεσματικότητα και μειωμένη τοξικότητα, περιορίζοντας παράλληλα τον αριθμό των αποτυχημένων πειραματικών δοκιμών στα αρχικά στάδια της έρευνας.

Επιπλέον, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αξιοποιούνται για την πρόβλεψη πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ φαρμάκων, καθώς και για την εκτίμηση ανεπιθύμητων ενεργειών, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ασφάλειας των νέων θεραπειών. Η ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων από προκλινικές και κλινικές μελέτες επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων που υποστηρίζουν τον σχεδιασμό πιο στοχευμένων και αποτελεσματικών κλινικών δοκιμών. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνητή νοημοσύνη λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης της επιστημονικής έρευνας, ενισχύοντας την αποδοτικότητα σε κάθε στάδιο της φαρμακευτικής ανάπτυξης.

Η συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης αναδείχθηκε ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, όταν η ανάγκη για ταχεία ανάπτυξη εμβολίων και αντιικών θεραπειών κατέστη επιτακτική. Συστήματα τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση πρωτεϊνικών δομών του ιού SARS-CoV-2, επιτρέποντας την ταχύτερη κατανόηση των μηχανισμών μόλυνσης και τον εντοπισμό πιθανών φαρμακευτικών στόχων. Η χρήση υπολογιστικών μοντέλων επιτάχυνε σημαντικά τη διαδικασία σχεδιασμού και αξιολόγησης υποψήφιων ενώσεων, μειώνοντας τον χρόνο που απαιτήθηκε για τη μετάβαση από τη βασική έρευνα στην κλινική εφαρμογή.

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στη φαρμακευτική έρευνα συνοδεύεται και από ορισμένες προκλήσεις. Η ποιότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των αλγορίθμων αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την ακρίβεια των προβλέψεων. Επιπλέον, η έλλειψη διαφάνειας σε ορισμένα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να περιορίσει την αποδοχή των αποτελεσμάτων τους από την επιστημονική κοινότητα και τις ρυθμιστικές αρχές. Η ανάπτυξη εξηγήσιμων μοντέλων και η στενή συνεργασία μεταξύ ερευνητών, φαρμακευτικών εταιρειών και ρυθμιστικών φορέων κρίνεται απαραίτητη για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των νέων θεραπειών.

Συνοψίζοντας, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον εκσυγχρονισμό της φαρμακευτικής έρευνας και ανάπτυξης θεραπειών, προσφέροντας εργαλεία που επιταχύνουν την ανακάλυψη νέων φαρμάκων και ενισχύουν την καινοτομία στον τομέα της υγείας. Η στρατηγική αξιοποίηση των τεχνολογιών αυτών, σε συνδυασμό με την τήρηση ηθικών και κανονιστικών αρχών, αναμένεται να αποτελέσει θεμέλιο για τη δημιουργία πιο αποτελεσματικών και ασφαλών θεραπευτικών λύσεων στο μέλλον.

Κεφάλαιο 5:

Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον Χώρο της Υγείας – Προκλήσεις

Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) στον τομέα της υγείας αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών, καθώς επηρεάζει καθοριστικά τον τρόπο παροχής υπηρεσιών υγειονομικής φροντίδας, τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και τη συνολική αποδοτικότητα των συστημάτων υγείας (Topol, 2019). Παρά τη ραγδαία ανάπτυξη και τις ενθαρρυντικές εφαρμογές της ΤΝ στη διάγνωση, την πρόγνωση, τη διαχείριση νοσοκομείων, τη ρομποτική χειρουργική και την τηλεϊατρική, η πρακτική ενσωμάτωσή της συνοδεύεται από ένα πλέγμα προκλήσεων, οι οποίες απαιτούν συστηματική επιστημονική προσέγγιση (Morley et al., 2020).

Οι προκλήσεις αυτές δεν είναι μονοδιάστατες αλλά αφορούν τόσο την τεχνολογική υποδομή όσο και τον ανθρώπινο, θεσμικό και κοινωνικό παράγοντα. Η ανεπαρκής αντιμετώπισή τους ενδέχεται να περιορίσει τα οφέλη της ΤΝ ή ακόμη και να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες συνέπειες για την ποιότητα και την ισότητα στην παροχή φροντίδας υγείας (Topol, 2019).

5.1 Ποιότητα, Διαθεσιμότητα και Μεροληψία Δεδομένων

Η ποιότητα των δεδομένων αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της αποτελεσματικής λειτουργίας των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Οι αλγόριθμοι μηχανικής και βαθιάς μάθησης απαιτούν μεγάλους όγκους δεδομένων υψηλής ακρίβειας, συνέπειας και πληρότητας (Morley et al., 2020). Στην πράξη, ωστόσο, τα δεδομένα υγείας συχνά χαρακτηρίζονται από ελλείψεις, κατακερματισμό και διαφοροποιήσεις ως προς τη μορφή και τον τρόπο καταγραφής τους, γεγονός που δυσχεραίνει τη χρήση τους για αξιόπιστη αλγοριθμική εκπαίδευση (Topol, 2019).

Επιπλέον, η μεροληψία στα δεδομένα συνιστά μία από τις πλέον σοβαρές προκλήσεις. Όπως αναδεικνύεται στη μελέτη των Obermeyer et al. (2019), οι αλγόριθμοι που εκπαιδεύονται σε δεδομένα τα οποία αντανακλούν κοινωνικοοικονομικές ανισότητες είναι πιθανό να αναπαράγουν ή και να ενισχύσουν τις ανισότητες αυτές. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στον τομέα της υγείας, όπου λανθασμένες ή μεροληπτικές προβλέψεις μπορεί να

έχουν άμεσες επιπτώσεις στην κλινική φροντίδα και στην ασφάλεια των ασθενών (Obermeyer et al., 2019).

5.2 Διαφάνεια, Ερμηνευσιμότητα και Εμπιστοσύνη

Η περιορισμένη διαφάνεια των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, και ειδικότερα των μοντέλων βαθιάς μάθησης, αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την ευρεία υιοθέτησή τους στην κλινική πράξη (Morley et al., 2020). Το φαινόμενο του «μαύρου κουτιού» περιγράφει την αδυναμία κατανόησης της εσωτερικής λειτουργίας ενός αλγορίθμου, ακόμη και από τους ίδιους τους δημιουργούς του.

Στο πλαίσιο της υγειονομικής φροντίδας, όπου η λήψη αποφάσεων πρέπει να είναι τεκμηριωμένη και αιτιολογημένη, η έλλειψη ερμηνευσιμότητας μπορεί να περιορίσει την εμπιστοσύνη των επαγγελματιών υγείας και να δυσχεράνει την κλινική αποδοχή των συστημάτων ΤΝ (Topol, 2019). Όπως επισημαίνουν οι Morley et al. (2020), η ανάπτυξη εξηγήσιμων μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την υπεύθυνη και ηθικά αποδεκτή χρήση της ΤΝ στην ιατρική.

5.3 Ηθικές Διαστάσεις και Νομικές Προκλήσεις

Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της υγείας εγείρει σοβαρά ηθικά ζητήματα, τα οποία σχετίζονται κυρίως με την προστασία της ιδιωτικότητας, τη διαχείριση ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων και τη λογοδοσία των αλγοριθμικών συστημάτων (Morley et al., 2020). Η επεξεργασία δεδομένων υγείας απαιτεί αυξημένα επίπεδα ασφάλειας, καθώς οποιαδήποτε παραβίαση μπορεί να έχει σοβαρές νομικές και κοινωνικές συνέπειες (Shabani and Marelli, 2022).

Ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) παρέχει ένα αυστηρό νομικό πλαίσιο για τη χρήση προσωπικών δεδομένων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (European Union, 2016). Παρά ταύτα, η εφαρμογή του σε περιβάλλοντα τεχνητής νοημοσύνης παρουσιάζει

προκλήσεις, ιδιαίτερα όσον αφορά τη διαφάνεια των αλγορίθμων και το δικαίωμα των πολιτών στην ενημέρωση και την αιτιολόγηση των αποφάσεων (Shabani and Marelli, 2022).

5.4 Οικονομικοί, Τεχνολογικοί και Οργανωτικοί Περιορισμοί

Η ανάπτυξη και η υιοθέτηση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογικές υποδομές, εξειδικευμένο προσωπικό και συνεχή τεχνική υποστήριξη (Topol, 2019). Το υψηλό κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο, ιδίως για δημόσια νοσοκομεία ή υγειονομικές δομές με περιορισμένους πόρους.

Παράλληλα, η ενσωμάτωση της ΤΝ προϋποθέτει οργανωτικές αλλαγές, όπως η αναθεώρηση των διαδικασιών εργασίας και η προσαρμογή των υφιστάμενων πληροφοριακών συστημάτων. Η έλλειψη στρατηγικού σχεδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε αποσπασματική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, μειώνοντας την αποδοτικότητά της (Topol, 2019).

5.5 Εκπαίδευση, Κουλτούρα και Αποδοχή από τους Επαγγελματίες Υγείας

Η ανθρώπινη διάσταση αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχή εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης. Η περιορισμένη γνώση και κατανόηση των τεχνολογιών ΤΝ μπορεί να δημιουργήσει επιφυλάξεις ή και αντίσταση από τους επαγγελματίες υγείας (Morley et al., 2020). Η εκπαίδευση στη χρήση και την κριτική αξιολόγηση των συστημάτων ΤΝ κρίνεται απαραίτητη για την ενίσχυση της αποδοχής τους.

Όπως αναφέρουν οι Morley et al. (2020), η ενσωμάτωση σχετικών γνωστικών αντικειμένων στα προγράμματα σπουδών και στη συνεχιζόμενη επαγγελματική επιμόρφωση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ τεχνολογίας και κλινικής πράξης.

Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) στον τομέα της υγείας αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών, καθώς επηρεάζει καθοριστικά τον τρόπο παροχής υπηρεσιών υγειονομικής φροντίδας, τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και τη συνολική αποδοτικότητα των συστημάτων υγείας. Παρά τη ραγδαία ανάπτυξη και τις ενθαρρυντικές εφαρμογές της ΤΝ στη διάγνωση, την πρόγνωση, τη διαχείριση νοσοκομείων, τη ρομποτική χειρουργική και την τηλεϊατρική, η πρακτική

ενσωμάτωσή της συνοδεύεται από ένα πλέγμα προκλήσεων, οι οποίες απαιτούν συστηματική επιστημονική προσέγγιση.

Οι προκλήσεις αυτές δεν είναι μονοδιάστατες αλλά αφορούν τόσο την τεχνολογική υποδομή όσο και τον ανθρώπινο, θεσμικό και κοινωνικό παράγοντα. Η ανεπαρκής αντιμετώπισή τους ενδέχεται να περιορίσει τα οφέλη της ΤΝ ή ακόμη και να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες συνέπειες για την ποιότητα και την ισότητα στην παροχή φροντίδας υγείας.

Κεφάλαιο 6:

Η Τεχνητή Νοημοσύνη στον Χώρο της Υγείας – Επιδράσεις

Η ραγδαία εξέλιξη και η αυξανόμενη ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) στον τομέα της υγείας έχει επιφέρει σημαντικές και πολυεπίπεδες επιδράσεις στον τρόπο παροχής υγειονομικής φροντίδας, στη λειτουργία των οργανισμών υγείας και στη σχέση μεταξύ επαγγελματιών υγείας και ασθενών (Topol, 2019, Vamathevan et al., 2019). Οι επιδράσεις αυτές δεν περιορίζονται αποκλειστικά σε τεχνολογικές βελτιώσεις, αλλά επεκτείνονται σε κλινικές, οργανωτικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις, διαμορφώνοντας ένα νέο πλαίσιο για τα σύγχρονα συστήματα υγείας (Morley et al., 2020).

Η τεχνητή νοημοσύνη λειτουργεί ως καταλύτης μετασχηματισμού, προσφέροντας εργαλεία που ενισχύουν την ακρίβεια, την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών, ενώ παράλληλα δημιουργεί νέες απαιτήσεις ως προς τη διακυβέρνηση, την εκπαίδευση και την ηθική χρήση της τεχνολογίας (WHO, 2021).

6.1 Επιδράσεις στην Κλινική Διάγνωση και Θεραπεία

Μία από τις πλέον καθοριστικές επιδράσεις της τεχνητής νοημοσύνης στον χώρο της υγείας αφορά τη βελτίωση της κλινικής διάγνωσης και της θεραπευτικής διαδικασίας. Οι αλγόριθμοι μηχανικής και βαθιάς μάθησης έχουν αποδείξει υψηλά επίπεδα ακρίβειας στην ανάλυση ιατρικών εικόνων, όπως ακτινογραφίες, αξονικές και μαγνητικές τομογραφίες, συμβάλλοντας στον έγκαιρο εντοπισμό παθολογικών καταστάσεων (Esteva et al., 2017· Topol, 2019). Η δυνατότητα αυτή ενισχύει την έγκαιρη διάγνωση, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την πρόγνωση και την ποιότητα ζωής των ασθενών (Jiang et al., 2017).

Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη υποστηρίζει την ανάπτυξη της προσωποποιημένης ιατρικής, καθώς επιτρέπει την ανάλυση πολύπλοκων δεδομένων, όπως γενετικά και κλινικά χαρακτηριστικά, με στόχο τη βέλτιστη προσαρμογή της θεραπείας στις ανάγκες κάθε ασθενούς (Beam and Kohane, 2020· Kourou et al., 2015).

6.2 Επιδράσεις στη Διαχείριση και Οργάνωση των Υπηρεσιών Υγείας

Η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης έχει επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές στη διοίκηση και οργάνωση των υπηρεσιών υγείας. Μέσω συστημάτων πρόβλεψης και ανάλυσης δεδομένων, οι οργανισμοί υγείας μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση ανθρώπινων και υλικών πόρων, να μειώσουν τους χρόνους αναμονής και να βελτιώσουν τη συνολική αποδοτικότητα των υπηρεσιών (Reddy et al., 2019).

Η χρήση αλγορίθμων πρόβλεψης της ζήτησης υπηρεσιών υγείας συμβάλλει στη βελτιωμένη κατανομή πόρων και στον αποτελεσματικότερο σχεδιασμό πολιτικών υγείας. Όπως αναφέρουν οι Vamathevan et al. (2019), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων μπορεί να υποστηρίξει στρατηγικές αποφάσεις που βασίζονται σε τεκμηριωμένες προβλέψεις και όχι αποκλειστικά σε εμπειρικές εκτιμήσεις, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των συστημάτων υγείας (OECD, 2020).

6.3 Επιδράσεις στην Ποιότητα και την Ασφάλεια της Φροντίδας

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης έχει συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας και της ασφάλειας της παρεχόμενης φροντίδας. Συστήματα υποστήριξης κλινικών αποφάσεων μπορούν να μειώσουν τα ιατρικά λάθη, να εντοπίσουν πιθανές αλληλεπιδράσεις φαρμάκων και να ειδοποιήσουν έγκαιρα για επικίνδυνες καταστάσεις (Jiang et al., 2017· Bates et al., 2018).

Ωστόσο, η εξάρτηση από αλγοριθμικά συστήματα ενδέχεται να δημιουργήσει νέους κινδύνους, όπως η υπερβολική εμπιστοσύνη στις αυτοματοποιημένες αποφάσεις ή η εσφαλμένη χρήση των συστημάτων. Για τον λόγο αυτό, η ανθρώπινη εποπτεία παραμένει απαραίτητη για τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας της φροντίδας (Morley et al., 2020, WHO, 2021).

6.4 Επιδράσεις στο Ανθρώπινο Δυναμικό Υγείας

Η τεχνητή νοημοσύνη επηρεάζει άμεσα τον ρόλο και τις αρμοδιότητες των επαγγελματιών υγείας. Από τη μία πλευρά, η αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών μπορεί να μειώσει τον φόρτο εργασίας και να επιτρέψει στους επαγγελματίες να επικεντρωθούν σε πιο σύνθετες και ανθρωποκεντρικές δραστηριότητες (Topol, 2019· Davenport and Kalakota,

2019). Από την άλλη πλευρά, η εισαγωγή της ΤΝ δημιουργεί ανησυχίες σχετικά με την αναδιάρθρωση των επαγγελματικών ρόλων και την ανάγκη απόκτησης νέων δεξιοτήτων (OECD, 2020).

Η συνεχής εκπαίδευση και η ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων θεωρούνται κρίσιμες για τη διασφάλιση της ομαλής προσαρμογής του ανθρώπινου δυναμικού στις νέες τεχνολογικές απαιτήσεις (Topol, 2019· Morley et al., 2020).

6.5 Κοινωνικές και Ηθικές Επιδράσεις

Οι κοινωνικές και ηθικές επιδράσεις της τεχνητής νοημοσύνης στον χώρο της υγείας είναι εξίσου σημαντικές με τις τεχνολογικές. Η βελτίωση της πρόσβασης στις υπηρεσίες υγείας μέσω ψηφιακών εφαρμογών μπορεί να συμβάλει στη μείωση των γεωγραφικών και κοινωνικών ανισοτήτων (WHO, 2021). Ωστόσο, η άνιση πρόσβαση στην τεχνολογία ενδέχεται να δημιουργήσει νέες μορφές κοινωνικού αποκλεισμού (OECD, 2020).

Επιπλέον, ζητήματα όπως η ιδιωτικότητα των δεδομένων, η αλγοριθμική μεροληψία και η λογοδοσία των συστημάτων ΤΝ απαιτούν συνεχή ηθική και θεσμική αξιολόγηση (Obermeyer et al., 2019· Shabani and Marelli, 2022).

Συνοψίζοντας, οι επιδράσεις της τεχνητής νοημοσύνης στον χώρο της υγείας είναι πολυδιάστατες και δυναμικές. Η αξιοποίηση των θετικών επιδράσεων της ΤΝ προϋποθέτει την αντιμετώπιση των τεχνικών, οργανωτικών και ηθικών προκλήσεων που τη συνοδεύουν. Μέσα από μια ισορροπημένη προσέγγιση που θα συνδυάζει την τεχνολογική καινοτομία με την ανθρώπινη εποπτεία και τη θεσμική ρύθμιση, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση των σύγχρονων συστημάτων υγείας.

Σύγκριση Επιδράσεων και Προκλήσεων της Τεχνητής Νοημοσύνης στον Τομέα της Υγείας

Τομέας Εφαρμογής	Θετικές Επιδράσεις της ΤΝ	Κύριες Προκλήσεις και Περιορισμοί
Ιατρική διάγνωση και πρόγνωση	Βελτίωση διαγνωστικής ακρίβειας, ταχύτερη ανίχνευση παθολογιών, έγκαιρη πρόγνωση σοβαρών νοσημάτων μέσω ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων (McKinney et al., 2020).	Κίνδυνος λανθασμένων προβλέψεων λόγω μεροληπτικών ή ελλιπών δεδομένων· περιορισμένη ερμηνευσιμότητα των αλγορίθμων («μαύρο κουτί») (Obermeyer et al., 2019).
Διαχείριση νοσοκομείων και πόρων	Βελτιστοποίηση κατανομής πόρων, μείωση χρόνων αναμονής, βελτίωση αποδοτικότητας και επιχειρησιακού σχεδιασμού (IBM, 2021).	Υψηλό κόστος εγκατάστασης και ανάγκη αναδιοργάνωσης υφιστάμενων διοικητικών διαδικασιών· εξάρτηση από την ποιότητα των διοικητικών δεδομένων.
Προσωποποιημένη και προβλεπτική ιατρική	Εξατομίκευση θεραπειών, βελτιωμένη ανταπόκριση σε φαρμακευτικές αγωγές, μείωση ανεπιθύμητων ενεργειών (Beam and Kohane, 2020).	Προβλήματα προστασίας ευαίσθητων γενετικών δεδομένων· περιορισμένη γενικευσιμότητα των μοντέλων σε διαφορετικούς πληθυσμούς.
Ρομποτική χειρουργική	Αυξημένη ακρίβεια επεμβάσεων, μειωμένα χειρουργικά σφάλματα, ταχύτερη αποκατάσταση ασθενών (Hung et al., 2018).	Υψηλό οικονομικό κόστος, περιορισμένη πρόσβαση, ανάγκη εξειδικευμένης εκπαίδευσης και τεχνικής υποστήριξης.
Τηλεϊατρική και παρακολούθηση ασθενών	Βελτιωμένη πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας, συνεχής παρακολούθηση χρόνιων ασθενών, αποσυμφόρηση νοσοκομείων (Vaishya et al., 2020).	Κίνδυνοι παραβίασης προσωπικών δεδομένων, ψηφιακό χάσμα, περιορισμένη ψηφιακή εγγραμματοσύνη ασθενών.
Λήψη κλινικών αποφάσεων	Υποστήριξη ιατρών με τεκμηριωμένες προτάσεις, μείωση ανθρώπινων σφαλμάτων, συνέπεια στη φροντίδα (Rajkomar et al., 2018).	Ζητήματα ευθύνης σε περίπτωση λανθασμένων αποφάσεων· ανάγκη διατήρησης ανθρώπινης εποπτείας.
Ηθική και κανονιστική διάσταση	Ενίσχυση της τυποποίησης και της διαφάνειας μέσω κανονιστικών πλαισίων (GDPR).	Πολυπλοκότητα συμμόρφωσης, ασάφεια ως προς τη νομική λογοδοσία αλγορίθμων (Shabani and Marelli, 2022).

Κεφάλαιο 7:

Μελέτες περίπτωσης

7.1 Μελέτη περίπτωσης: Διαχείριση Νοσοκομείων

Η μελέτη Use of Artificial Intelligence tools in supporting decision-making in hospital management αποτελεί μια εμπεριστατωμένη ανάλυση της εφαρμογής εργαλείων Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση νοσοκομείων, με έμφαση στη διαδικασία υποστήριξης της λήψης διοικητικών αποφάσεων. Στόχος της μελέτης είναι να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα AI μπορούν να επεξεργάζονται πολύπλοκα και ετερογενή δεδομένα, προκειμένου να παρέχουν έγκαιρες, αξιόπιστες και τεκμηριωμένες πληροφορίες στους διοικητικούς υπεύθυνους των νοσοκομειακών μονάδων.

Η μελέτη εξετάζει τη χρήση προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (Big Data), οι οποίοι αντλούν πληροφορίες από κλινικά αρχεία ασθενών, δεδομένα λειτουργίας νοσοκομειακών τμημάτων, καθώς και στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση ανθρώπινων και υλικών πόρων. Μέσω αυτής της πολυδιάστατης ανάλυσης, τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης είναι σε θέση να υποστηρίξουν κρίσιμες διοικητικές λειτουργίες, όπως η πρόβλεψη της ζήτησης υπηρεσιών υγείας, η διαχείριση της πληρότητας των κλινών και ο προγραμματισμός του προσωπικού.

Επιπλέον, η μελέτη εστιάζει στον ρόλο της AI ως εργαλείου υποστήριξης και όχι αντικατάστασης της ανθρώπινης διοικητικής κρίσης. Οι συγγραφείς αναλύουν τόσο τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων όσο και τις οργανωτικές και ηθικές διαστάσεις της εφαρμογής τους, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για διαφάνεια, αξιοπιστία και συμμόρφωση με τους κανονισμούς προστασίας προσωπικών δεδομένων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν σημαντικά οφέλη από την εφαρμογή εργαλείων Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση νοσοκομείων. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα είναι η βελτίωση της ποιότητας της λήψης αποφάσεων, καθώς οι διοικητικοί υπεύθυνοι έχουν πρόσβαση σε αναλύσεις βασισμένες σε πραγματικά δεδομένα και όχι αποκλειστικά σε

εμπειρικές εκτιμήσεις. Αυτό συμβάλλει στη μείωση των ανθρώπινων σφαλμάτων και στην αύξηση της αντικειμενικότητας των αποφάσεων.

Ένα ακόμη σημαντικό όφελος αφορά τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων. Η χρήση AI επιτρέπει τον ακριβέστερο προγραμματισμό του ανθρώπινου δυναμικού, την καλύτερη αξιοποίηση του ιατροτεχνολογικού εξοπλισμού και την αποτελεσματικότερη διαχείριση των κλινών, γεγονός που οδηγεί σε μείωση του λειτουργικού κόστους και βελτίωση της οικονομικής βιωσιμότητας των νοσοκομείων.

Παράλληλα, η εφαρμογή συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας. Μέσω της πρόβλεψης της ζήτησης και της έγκαιρης κατανομής πόρων, μειώνονται οι χρόνοι αναμονής των ασθενών και βελτιώνεται η συνολική εμπειρία τους εντός του νοσοκομειακού περιβάλλοντος.

Τέλος, η μελέτη αναδεικνύει τη συμβολή της AI στη στρατηγική διοίκηση των νοσοκομείων, καθώς παρέχει εργαλεία μακροπρόθεσμου σχεδιασμού και αξιολόγησης της απόδοσης. Υπό την προϋπόθεση της σωστής ενσωμάτωσης σε οργανωτικό και ηθικό πλαίσιο, η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να αποτελέσει καταλύτη για τη μετάβαση σε πιο ευέλικτα, αποδοτικά και βιώσιμα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης.

7.2 Μελέτη περίπτωσης: Διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του μαστού

Η μελέτη Explainable Artificial Intelligence in Breast Cancer Detection and Risk Prediction αποτελεί μια συστηματική ανασκόπηση της σύγχρονης επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με την εφαρμογή της Επεξηγήσιμης Τεχνητής Νοημοσύνης (Explainable Artificial Intelligence – XAI) στη διάγνωση και την πρόγνωση του καρκίνου του μαστού. Σκοπός της μελέτης είναι η αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο τα σύγχρονα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να συνδυάζουν υψηλή διαγνωστική ακρίβεια με επαρκή επίπεδα διαφάνειας και ερμηνευσιμότητας, ώστε να είναι κατάλληλα για χρήση σε κλινικά περιβάλλοντα.

Οι συγγραφείς εξετάζουν μελέτες που εφαρμόζουν τεχνικές μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης σε πολυδιάστατα ιατρικά δεδομένα, όπως μαστογραφικές εικόνες, ιστοπαθολογικά δείγματα και κλινικοδημογραφικά χαρακτηριστικά ασθενών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση εργαλείων επεξηγησιμότητας, όπως οι μέθοδοι SHAP και LIME, οι οποίες επιτρέπουν την ανάλυση της συμβολής των επιμέρους χαρακτηριστικών στις προβλέψεις των μοντέλων AI. Μέσω αυτών των τεχνικών, η μελέτη αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο οι αλγόριθμοι

μπορούν να παρέχουν κατανοητές εξηγήσεις για τις αποφάσεις τους, ενισχύοντας τη διαφάνεια και τη λογοδοσία των συστημάτων.

Παράλληλα, η μελέτη εξετάζει τα κριτήρια αξιολόγησης των επεξηγήσιμων μοντέλων, καθώς και τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη γενίκευση των αποτελεσμάτων και τη χρήση ετερογενών συνόλων δεδομένων. Οι συγγραφείς υπογραμμίζουν ότι η XAI δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική προσθήκη, αλλά ουσιώδες στοιχείο για την κλινική ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διάγνωση του καρκίνου του μαστού.

Τα ευρήματα της μελέτης αναδεικνύουν σημαντικά οφέλη από την εφαρμογή της Επεξηγήσιμης Τεχνητής Νοημοσύνης στη διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του μαστού. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα είναι η ενίσχυση της εμπιστοσύνης των επαγγελματιών υγείας στα συστήματα AI, καθώς η δυνατότητα ερμηνείας των προβλέψεων επιτρέπει στους κλινικούς ιατρούς να κατανοούν και να αξιολογούν τα αποτελέσματα πριν τη λήψη τελικών αποφάσεων.

Επιπλέον, η XAI συμβάλλει στη βελτίωση της κλινικής ακρίβειας και της πρόγνωσης της νόσου, επιτρέποντας την έγκαιρη αναγνώριση ασθενών υψηλού κινδύνου. Αυτό διευκολύνει την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών στρατηγικών και την καλύτερη διαχείριση των ασθενών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα κλινικά αποτελέσματα και αυξημένα ποσοστά επιβίωσης.

Ένα ακόμη σημαντικό όφελος αφορά τη συμμόρφωση με ηθικές και κανονιστικές απαιτήσεις στον χώρο της υγείας. Η διαφάνεια που προσφέρει η XAI ενισχύει τη λογοδοσία των αυτοματοποιημένων συστημάτων και μειώνει τον κίνδυνο λανθασμένων ή μεροληπτικών αποφάσεων, στοιχείο ιδιαίτερα κρίσιμο σε εφαρμογές υψηλού ρίσκου όπως η ιατρική διάγνωση.

Συνολικά, η μελέτη καταδεικνύει ότι η Επεξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ασφαλή, αξιόπιστη και κοινωνικά αποδεκτή ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στην ιατρική διάγνωση και πρόγνωση, προσφέροντας ουσιαστικά οφέλη τόσο στους επαγγελματίες υγείας όσο και στους ασθενείς.

7.4 Μελέτη περίπτωσης: Διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του πνεύμονα

Η μελέτη περίπτωσης *Improving Diagnosis and Prognosis of Lung Cancer Using Vision Transformers* εξετάζει την εφαρμογή προηγμένων μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης στη διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του πνεύμονα, με έμφαση στη χρήση των Vision Transformers (ViTs). Στόχος της μελέτης είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτών των μοντέλων στην ανάλυση ιατρικών απεικονιστικών δεδομένων, όπως αξονικές τομογραφίες και ακτινογραφίες θώρακος, καθώς και η διερεύνηση της συμβολής τους στην υποστήριξη της κλινικής λήψης αποφάσεων.

Οι συγγραφείς συγκρίνουν τους Vision Transformers με παραδοσιακές προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης, όπως τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks – CNNs), αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα των μηχανισμών προσοχής (attention mechanisms) που επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη αναγνώριση κρίσιμων προτύπων στις ιατρικές εικόνες. Η μελέτη παρουσιάζει πώς τα μοντέλα ViTs μπορούν να ενσωματώνουν πληροφορίες από ολόκληρη την εικόνα, οδηγώντας σε πιο ολοκληρωμένες και ακριβείς διαγνωστικές προβλέψεις.

Πέρα από τον διαγνωστικό τομέα, η μελέτη εξετάζει και την προγνωστική ικανότητα των Vision Transformers, όπως την πρόβλεψη της εξέλιξης της νόσου και την εκτίμηση της επιβίωσης των ασθενών. Μέσω της ανάλυσης πολυδιάστατων δεδομένων, τα συστήματα AI αξιοποιούνται ως εργαλεία υποστήριξης εξατομικευμένων θεραπευτικών αποφάσεων. Παράλληλα, αναλύονται οι τεχνικές και οργανωτικές προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή των ViTs σε κλινικά περιβάλλοντα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αναδεικνύουν σημαντικά οφέλη από τη χρήση των Vision Transformers στη διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου του πνεύμονα. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η βελτίωση της διαγνωστικής ακρίβειας, καθώς τα μοντέλα ViTs είναι σε θέση να εντοπίζουν λεπτά απεικονιστικά χαρακτηριστικά που ενδέχεται να διαφεύγουν από τις παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης. Αυτό συμβάλλει στον έγκαιρο εντοπισμό κακοήθων αλλοιώσεων και στη βελτίωση της ποιότητας της διάγνωσης.

Επιπλέον, η συμβολή των Vision Transformers στην πρόγνωση της νόσου επιτρέπει την καλύτερη εκτίμηση της εξέλιξης του καρκίνου και της πιθανής επιβίωσης των ασθενών. Η δυνατότητα αυτή διευκολύνει την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών στρατηγικών και

την αποτελεσματικότερη κλινική διαχείριση των ασθενών, ενισχύοντας τη συνολική ποιότητα της παρεχόμενης φροντίδας υγείας.

Ένα ακόμη σημαντικό όφελος αφορά την υποστήριξη της κλινικής λήψης αποφάσεων. Τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης λειτουργούν ως συμπληρωματικά εργαλεία για τους επαγγελματίες υγείας, παρέχοντας αντικειμενικές και τεκμηριωμένες προβλέψεις βασισμένες σε δεδομένα. Τέλος, η μελέτη καταδεικνύει ότι, παρά τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ερμηνευσιμότητα και τη διαθεσιμότητα δεδομένων, οι Vision Transformers αποτελούν μια ιδιαίτερα υποσχόμενη τεχνολογία για τη μελλοντική ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στην κλινική ογκολογία.

7.5 Μελέτη περίπτωσης: Ενσωμάτωση Τεχνητής Νοημοσύνης σε Ρομποτικά Χειρουργικά Συστήματα για την Ογκολογική Κλινική Πράξη

Η συστηματική ανασκόπηση με τίτλο The Integration of Artificial Intelligence into Robotic Cancer Surgery εξετάζει σε βάθος την ενσωμάτωση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) σε ρομποτικά συστήματα χειρουργικής που εφαρμόζονται στην ογκολογική κλινική πράξη. Στόχος της μελέτης είναι η αποτύπωση των σύγχρονων εφαρμογών της AI στη ρομποτική χειρουργική, καθώς και η αξιολόγηση της συμβολής τους στη βελτίωση της ακρίβειας, της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των χειρουργικών επεμβάσεων.

Η μεθοδολογία της ανασκόπησης βασίζεται στις κατευθυντήριες οδηγίες PRISMA για τη διεξαγωγή systematic reviews, γεγονός που διασφαλίζει τη μεθοδολογική εγκυρότητα και τη διαφάνεια της διαδικασίας επιλογής των μελετών. Η βιβλιογραφική αναζήτηση πραγματοποιήθηκε σε διεθνείς επιστημονικές βάσεις δεδομένων, όπως οι Embase, Medline, Web of Science και IEEE, με αποτέλεσμα τη συμπερίληψη δεκατεσσάρων πρωτογενών μελετών που πληρούσαν τα κριτήρια ποιότητας και συνάφειας.

Οι συμπεριληφθείσες μελέτες βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα ασθενών και περιλαμβάνουν τόσο αναδρομικά όσο και προοπτικά ερευνητικά σχέδια. Η ανάλυση επικεντρώνεται στη χρήση εργαλείων AI σε διαφορετικά στάδια της χειρουργικής διαδικασίας, συγκεκριμένα στον προεγχειρητικό σχεδιασμό, την ενδοεγχειρητική υποστήριξη και τη μετεγχειρητική πρόγνωση. Στο προεγχειρητικό στάδιο, η Τεχνητή Νοημοσύνη αξιοποιείται για την εκτίμηση κινδύνων και τη βελτιστοποίηση της χειρουργικής στρατηγικής, ενώ κατά τη διάρκεια της επέμβασης εφαρμόζονται συστήματα υπολογιστικής όρασης και μηχανικής

μάθησης για την αναγνώριση ανατομικών δομών και όγκων. Επιπλέον, στο μετεγχειρητικό στάδιο, η AI συμβάλλει στην πρόβλεψη λειτουργικών και ογκολογικών αποτελεσμάτων, υποστηρίζοντας την εξατομικευμένη παρακολούθηση και φροντίδα των ασθενών.

Η αξιολόγηση της ποιότητας των μελετών πραγματοποιήθηκε με βάση διεθνώς αναγνωρισμένα εργαλεία, όπως τα κριτήρια NIH και TRIPOD-AI, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων. Παράλληλα, η ανασκόπηση αναδεικνύει τη σημαντική ετερογένεια των διαθέσιμων δεδομένων και τις μεθοδολογικές προκλήσεις που εξακολουθούν να χαρακτηρίζουν την τρέχουσα έρευνα στον τομέα της AI-υποστηριζόμενης ρομποτικής χειρουργικής.

Η μελέτη αναδεικνύει πολλαπλά οφέλη από την ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη ρομποτική ογκολογική χειρουργική. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αφορά τη βελτίωση της χειρουργικής ακρίβειας και απόδοσης. Μέσω της ανάλυσης απεικονιστικών και κλινικών δεδομένων, τα συστήματα AI επιτρέπουν ακριβέστερη τοποθέτηση των χειρουργικών εργαλείων και καλύτερο προσδιορισμό των ορίων των όγκων, γεγονός που συμβάλλει στη διατήρηση υγιών ιστών και στη μείωση του χρόνου ισχαιμίας.

Παράλληλα, η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων σε πολλαπλά στάδια της χειρουργικής διαδικασίας. Από τον αρχικό σχεδιασμό έως την ενδοεγχειρητική καθοδήγηση και την πρόβλεψη ενδεχόμενης μετατροπής της επέμβασης σε πιο επεμβατική μορφή, η AI παρέχει τεκμηριωμένες εκτιμήσεις που ενισχύουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των χειρουργικών αποφάσεων.

Επιπλέον, η ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων που βασίζονται σε πολυδιάστατα δεδομένα επιτρέπει την εκτίμηση μετεγχειρητικών επιπλοκών, την πρόβλεψη της πορείας της νόσου και τη διαμόρφωση εξατομικευμένων πλάνων αποκατάστασης. Το στοιχείο αυτό συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας της μετεγχειρητικής φροντίδας και της συνολικής έκβασης των ασθενών.

Τέλος, η αξιοποίηση πραγματικών δεδομένων ασθενών προσδίδει αυξημένη κλινική αξία στα συμπεράσματα της μελέτης, ενισχύοντας την πρακτική εφαρμοσιμότητα των αποτελεσμάτων. Η συστηματική εφαρμογή διεθνών προτύπων ποιότητας, όπως τα PRISMA και TRIPOD-AI, υπογραμμίζει τη σημασία της τεκμηριωμένης και αξιόπιστης έρευνας, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω μελέτες με μεγαλύτερα και πιο ομοιογενή σύνολα δεδομένων.

7.6 Μελέτη περίπτωσης: Τεχνητή Νοημοσύνη και Ρομποτική Χειρουργική - Καινοτομία και Κλινική Εφαρμογή

Η ανασκοπική μελέτη Artificial Intelligence: Revolutionizing Robotic Surgery εξετάζει τον ρόλο της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) στη ριζική μεταμόρφωση της ρομποτικής χειρουργικής, εστιάζοντας τόσο στις τεχνολογικές εξελίξεις όσο και στις κλινικές εφαρμογές τους. Στόχος των συγγραφέων είναι να παρουσιάσουν μια συνολική εικόνα των σύγχρονων εργαλείων AI που ενσωματώνονται σε ρομποτικά χειρουργικά συστήματα και να αναδείξουν τον αντίκτυπό τους στη βελτίωση της ακρίβειας, της ασφάλειας και της αποδοτικότητας των χειρουργικών επεμβάσεων.

Η μελέτη βασίζεται σε εκτενή ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και καλύπτει διαφορετικές χειρουργικές ειδικότητες, όπως η ουρολογία, η γενική χειρουργική, η καρδιοχειρουργική και η ογκολογική χειρουργική. Οι συγγραφείς αναλύουν εφαρμογές της AI που περιλαμβάνουν την υπολογιστική όραση για την αναγνώριση ανατομικών δομών, την ανάλυση χειρουργικών κινήσεων, τη βελτιστοποίηση του ελέγχου των ρομποτικών εργαλείων και την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων ή ημιαυτόνομων χειρουργικών λειτουργιών.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης για την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την παροχή υποστηρικτικών πληροφοριών προς τον χειρουργό, όπως προτάσεις για τη βελτίωση της τεχνικής ή την αποφυγή επιπλοκών. Παράλληλα, η μελέτη εξετάζει τον ρόλο της AI στη χειρουργική εκπαίδευση και αξιολόγηση δεξιοτήτων, μέσω της αντικειμενικής ανάλυσης των χειρουργικών κινήσεων και της απόδοσης των χειρουργών.

Ένα από τα βασικά οφέλη που αναδεικνύει η μελέτη είναι η σημαντική βελτίωση της χειρουργικής ακρίβειας. Μέσω της ανάλυσης απεικονιστικών και λειτουργικών δεδομένων, τα συστήματα AI επιτρέπουν την ακριβέστερη καθοδήγηση των ρομποτικών εργαλείων και τον καλύτερο εντοπισμό κρίσιμων ανατομικών δομών, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμού υγιών ιστών.

Επιπλέον, η AI συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των χειρουργικών επιπλοκών και στη βελτίωση της ασφάλειας των ασθενών. Η δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση πιθανών λαθών ή αποκλίσεων από τη βέλτιστη χειρουργική πρακτική, λειτουργώντας υποστηρικτικά προς τη λήψη αποφάσεων του χειρουργού.

Ένα ακόμη σημαντικό όφελος αφορά την υποστήριξη της χειρουργικής εκπαίδευσης. Η μελέτη δείχνει ότι τα AI-υποστηριζόμενα ρομποτικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντικειμενική αξιολόγηση των δεξιοτήτων των χειρουργών, την παροχή εξατομικευμένης ανατροφοδότησης και τη βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας. Αυτό συμβάλλει στη μείωση της καμπύλης εκμάθησης και στην τυποποίηση της ποιότητας των χειρουργικών επεμβάσεων.

Τέλος, η ανασκόπηση επισημαίνει ότι, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα της AI στη ρομποτική χειρουργική, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με το υψηλό κόστος, την ανάγκη για μεγάλα και ποιοτικά σύνολα δεδομένων, καθώς και τα ηθικά και νομικά ζητήματα που προκύπτουν από την αυξημένη αυτοματοποίηση. Οι συγγραφείς υπογραμμίζουν ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη θα πρέπει να λειτουργεί ως υποστηρικτικό εργαλείο και όχι ως υποκατάστατο της ανθρώπινης κρίσης.

7.7 Μελέτη περίπτωσης: Τεχνητή Νοημοσύνη στην Τηλεϊατρική - Βελτιστοποίηση Απομακρυσμένης Παρακολούθησης Ασθενών

Η μελέτη *Artificial Intelligence in Remote Monitoring and Telemedicine* επικεντρώνεται στη διερεύνηση της συμβολής της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) στη βελτίωση της απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών και των σύγχρονων τηλεϊατρικών υπηρεσιών. Οι συγγραφείς αναλύουν πώς η ραγδαία ανάπτυξη ψηφιακών τεχνολογιών υγείας, σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, έχει μετασχηματίσει τη συλλογή, επεξεργασία και αξιοποίηση ιατρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Η μελέτη περιγράφει συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης που βασίζονται σε φορητές συσκευές (wearables), αισθητήρες και εφαρμογές υγείας, τα οποία καταγράφουν ζωτικά σημεία όπως καρδιακό ρυθμό, αρτηριακή πίεση, επίπεδα οξυγόνου στο αίμα και επίπεδα φυσικής δραστηριότητας. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται μέσω αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν πρότυπα, να εντοπίζουν

αποκλίσεις από τη φυσιολογική κατάσταση και να προβλέπουν πιθανούς κινδύνους για την υγεία των ασθενών.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση προγνωστικών μοντέλων (predictive analytics), τα οποία επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση επιδείνωσης της υγείας πριν την εμφάνιση σοβαρών κλινικών συμπτωμάτων. Η μελέτη υποστηρίζει ότι αυτή η προσέγγιση μετατοπίζει τη φροντίδα υγείας από την αντιδραστική στην προληπτική, βελτιώνοντας σημαντικά τα κλινικά αποτελέσματα.

Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη που αναδεικνύει η μελέτη είναι η δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης παθολογικών αλλαγών στα ζωτικά σημεία των ασθενών. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να εντοπίζουν ακόμη και μικρές αποκλίσεις από τα φυσιολογικά όρια, επιτρέποντας την άμεση παρέμβαση των επαγγελματιών υγείας πριν την επιδείνωση της κατάστασης.

Η συνεχής ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παρέχει στους ιατρούς ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης του ασθενούς. Σύμφωνα με τη μελέτη, η τεχνητή νοημοσύνη υποστηρίζει την εξατομίκευση της θεραπείας, καθώς οι αποφάσεις βασίζονται σε πραγματικά και διαχρονικά δεδομένα, και όχι μόνο σε στιγμιαίες κλινικές μετρήσεις.

Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της ΤΝ στη μακροχρόνια παρακολούθηση ασθενών με χρόνιες παθήσεις, όπως καρδιαγγειακά νοσήματα, σακχαρώδη διαβήτη και αναπνευστικές ασθένειες. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση συμβάλλει στη βελτίωση της συμμόρφωσης των ασθενών στη θεραπεία και στη μείωση των επαναλαμβανόμενων νοσηλειών.

Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημα που αναφέρεται είναι η οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων τηλεϊατρικής με τεχνητή νοημοσύνη. Η πρόληψη επιπλοκών και η μείωση των επισκέψεων σε νοσοκομεία οδηγούν σε χαμηλότερο κόστος περίθαλψης και αποσυμφόρηση των υγειονομικών δομών.

Η μελέτη επισημαίνει ότι η τηλεϊατρική, σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη, ενισχύει την πρόσβαση σε ποιοτικές υπηρεσίες υγείας για ασθενείς που κατοικούν σε απομακρυσμένες ή υποεξυπηρετούμενες περιοχές, μειώνοντας τις γεωγραφικές και κοινωνικές ανισότητες.

Τέλος, η τεχνητή νοημοσύνη παρουσιάζεται ως εργαλείο υποστήριξης των επαγγελματιών υγείας και όχι ως υποκατάστατό τους. Τα συστήματα ΤΝ παρέχουν ειδοποιήσεις, προβλέψεις και αναλυτικά δεδομένα, τα οποία ενισχύουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της κλινικής λήψης αποφάσεων.

7.8 Μελέτη περίπτωσης: Εικονικοί Βοηθοί με Τεχνητή Νοημοσύνη για Υποστήριξη Ασθενών και Τηλεπαρακολούθηση.

Η μελέτη *AI-Enhanced Virtual Assistants for Healthcare Support and Patient Monitoring* εξετάζει τη χρήση εικονικών βοηθών ενισχυμένων με τεχνητή νοημοσύνη στον τομέα της υγείας, με έμφαση στην υποστήριξη ασθενών και την απομακρυσμένη παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας τους. Οι συγγραφείς αναλύουν πώς τεχνολογίες όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing – NLP), η μηχανική μάθηση και τα συστήματα συνομιλιακής τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να ενσωματωθούν σε ψηφιακές πλατφόρμες υγείας.

Η μελέτη περιγράφει τη λειτουργία των AI-based virtual assistants ως διαδραστικών συστημάτων που επικοινωνούν με τους ασθενείς μέσω γραπτού ή φωνητικού διαλόγου, συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με συμπτώματα, ζωτικά σημεία και καθημερινές συνήθειες. Παράλληλα, οι εικονικοί βοηθοί μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένες οδηγίες, υπενθυμίσεις φαρμακευτικής αγωγής και βασική ιατρική καθοδήγηση, λειτουργώντας ως ενδιάμεσος κρίκος μεταξύ ασθενούς και επαγγελματία υγείας.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον ρόλο των εικονικών βοηθών στη συνεχή παρακολούθηση ασθενών με χρόνιες παθήσεις, καθώς και στη δυνατότητά τους να εντοπίζουν ανωμαλίες ή αλλαγές στη συμπεριφορά και την κατάσταση της υγείας των ασθενών. Η μελέτη υπογραμμίζει

ότι τα συστήματα αυτά δεν αντικαθιστούν τους ιατρούς, αλλά λειτουργούν ως εργαλεία υποστήριξης της κλινικής φροντίδας και βελτίωσης της επικοινωνίας.

Ένα από τα βασικά οφέλη που αναδεικνύει η μελέτη είναι η δυνατότητα παροχής υποστήριξης σε 24ωρη βάση. Οι εικονικοί βοηθοί μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση των ασθενών σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές δια ζώσης επισκέψεις.

Η μελέτη τονίζει ότι οι υπενθυμίσεις φαρμάκων, ιατρικών ραντεβού και οδηγιών θεραπείας που παρέχονται από τους εικονικούς βοηθούς συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της συμμόρφωσης των ασθενών στη θεραπευτική αγωγή.

Μέσω της ανάλυσης δεδομένων και της προσαρμογής των απαντήσεων, οι AI-enhanced virtual assistants μπορούν να προσφέρουν εξατομικευμένες συστάσεις, προσαρμοσμένες στις ανάγκες και το ιστορικό κάθε ασθενούς.

Η μελέτη επισημαίνει ότι οι εικονικοί βοηθοί είναι σε θέση να εντοπίζουν πρώιμα σημάδια επιδείνωσης της υγείας, βασιζόμενοι σε αλλαγές στα συμπτώματα ή στα δεδομένα που καταγράφονται, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση των επαγγελματιών υγείας.

Η αυτοματοποίηση βασικών διαδικασιών, όπως η συλλογή πληροφοριών και η παροχή απαντήσεων σε συχνές ερωτήσεις, μειώνει τον φόρτο εργασίας των ιατρών και του νοσηλευτικού προσωπικού, επιτρέποντάς τους να επικεντρωθούν σε πιο σύνθετα περιστατικά.

Η μελέτη αναδεικνύει τη σημασία των εικονικών βοηθών για ασθενείς που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές ή έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε υγειονομικές δομές, ενισχύοντας την ισότητα στην παροχή φροντίδας υγείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1 Συμπεράσματα

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως μία από τις πλέον καινοτόμες και καθοριστικές τεχνολογίες στον χώρο της υγειονομικής περίθαλψης, παρουσιάζοντας σημαντικές δυνατότητες μετασχηματισμού της ιατρικής πρακτικής και της παροχής φροντίδας στους ασθενείς (Topol, 2019· Davenport and Kalakota, 2019). Η σταδιακή ενσωμάτωση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στην καθημερινή λειτουργία των υγειονομικών μονάδων επιτρέπει στους επαγγελματίες υγείας να επεξεργάζονται και να αξιοποιούν μεγάλους όγκους ιατρικών δεδομένων με αυξημένη ταχύτητα και ακρίβεια, δυνατότητα που υπερβαίνει τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων (Rajkomar et al., 2019).

Η αξιοποίηση της AI έχει ήδη θετικό αντίκτυπο στην πρόληψη, τη διάγνωση και τη θεραπεία πλήθους ασθενειών, ενώ παράλληλα δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη πιο στοχευμένων και εξατομικευμένων θεραπευτικών παρεμβάσεων (Jiang et al., 2017· Yu, Beam and Kohane, 2018). Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης στη βελτίωση της διαγνωστικής ακρίβειας. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, βαθιάς μάθησης και προηγμένων τεχνικών ανάλυσης εικόνας, καθίσταται δυνατή η ανίχνευση παθολογικών ευρημάτων με υψηλό επίπεδο ευαισθησίας και αξιοπιστίας (Litjens et al., 2017). Ενδεικτικά, η εφαρμογή της AI στην επεξεργασία ιατρικών απεικονίσεων, όπως αξονικές και μαγνητικές τομογραφίες, έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική για την πρώιμη διάγνωση σοβαρών παθήσεων, μεταξύ των οποίων ο καρκίνος, τα καρδιαγγειακά νοσήματα και οι νευροεκφυλιστικές διαταραχές (Esteva et al., 2017· McKinney et al., 2020). Η δυνατότητα εντοπισμού παθολογικών αλλοιώσεων σε αρχικά στάδια συμβάλλει καθοριστικά στην έγκαιρη έναρξη της θεραπείας, αυξάνοντας τις πιθανότητες επιτυχούς αντιμετώπισης και βελτιώνοντας τα ποσοστά επιβίωσης των ασθενών (Topol, 2019).

Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προώθηση της εξατομικευμένης ιατρικής. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων που προέρχονται από γενετικές εξετάσεις, ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας και φορητές συσκευές παρακολούθησης, καθίσταται εφικτός ο σχεδιασμός θεραπευτικών στρατηγικών προσαρμοσμένων στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ασθενούς (Kumar et al., 2021· Rajkomar et al., 2019). Η προσέγγιση

αυτή συμβάλλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των θεραπειών και στη μείωση της εμφάνισης ανεπιθύμητων ενεργειών (Yu, Beam and Kohane, 2018).

Ένας ακόμη τομέας όπου η τεχνητή νοημοσύνη έχει επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές είναι η ρομποτική χειρουργική. Η χρήση ρομποτικών συστημάτων, υποστηριζόμενων από τεχνολογίες AI, επιτρέπει την εκτέλεση πολύπλοκων χειρουργικών επεμβάσεων με εξαιρετική ακρίβεια μέσω ελάχιστα επεμβατικών τεχνικών, γεγονός που οδηγεί σε ταχύτερη ανάρρωση, μειωμένο κίνδυνο επιπλοκών και συνολική βελτίωση της εμπειρίας του ασθενούς (Yang et al., 2017· Hashimoto et al., 2018).

Επιπρόσθετα, η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλει σημαντικά στην αυτοματοποίηση διαδικασιών που μέχρι πρότινος απαιτούσαν εκτεταμένη ανθρώπινη παρέμβαση. Από τη διαχείριση και ανάλυση ηλεκτρονικών ιατρικών φακέλων έως την παρακολούθηση της φαρμακευτικής αγωγής και την υποστήριξη της κλινικής απόφασης, τα συστήματα AI αυξάνουν την αποδοτικότητα των υπηρεσιών υγείας, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος και τον φόρτο εργασίας του ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού (Bates et al., 2018· Davenport and Kalakota, 2019).

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη συνοδεύεται και από προκλήσεις ηθικής και νομικής φύσεως. Ζητήματα όπως η διαφάνεια στη λήψη αποφάσεων από αλγοριθμικά συστήματα και η ευθύνη σε περιπτώσεις σφαλμάτων αποτελούν κρίσιμα σημεία προβληματισμού στη διεθνή βιβλιογραφία (Floridi et al., 2018· Jobin, Ienca and Vayena, 2019). Η ανάπτυξη εξηγήσιμων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και η θέσπιση σαφών ρυθμιστικών πλαισίων θεωρούνται απαραίτητες προϋποθέσεις για την ασφαλή χρήση της τεχνολογίας.

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η προστασία των προσωπικών δεδομένων και της ιδιωτικότητας των ασθενών, καθώς η τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στην επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων ευαίσθητων πληροφοριών. Η συμμόρφωση με τη νομοθεσία περί προστασίας δεδομένων και η διαφανής διαχείρισή τους αποτελούν βασικούς παράγοντες για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης μεταξύ ασθενών και παρόχων υγείας (Rumbold and Pierscionek, 2017).

Τέλος, η αποτελεσματική αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης προϋποθέτει την κατάλληλη εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας. Η ιατρική εκπαίδευση καλείται να προσαρμοστεί στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις, ενσωματώνοντας γνώσεις σχετικές με την τεχνητή νοημοσύνη, την ανάλυση δεδομένων και τη συνεργασία ανθρώπου–μηχανής (Wartman and Combs, 2018). Με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας και την προσαρμογή των θεσμικών πλαισίων, η τεχνητή

νοημοσύνη αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας, της αποτελεσματικότητας και της προσβασιμότητας των υπηρεσιών υγείας στο μέλλον.

8.2 Προτάσεις

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα, καθίσταται σαφές ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης για τον εκσυγχρονισμό και τη βελτίωση των συστημάτων υγείας (Davenport & Kalakota, 2019; Rajkomar, Dean & Kohane, 2019). Ωστόσο, η αποτελεσματική και ασφαλής αξιοποίησή της προϋποθέτει τον σχεδιασμό και την εφαρμογή συγκεκριμένων στρατηγικών και πολιτικών παρεμβάσεων (Floridi et al., 2018; Jobin, Ienca & Vayena, 2019). Αρχικά, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου θεσμικού και ρυθμιστικού πλαισίου που θα διέπει τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της υγείας (Rumbold & Pierscionek, 2017). Το πλαίσιο αυτό θα πρέπει να διασφαλίζει τη διαφάνεια των αλγοριθμικών διαδικασιών, να καθορίζει σαφώς την ευθύνη σε περιπτώσεις σφαλμάτων και να εγγυάται τη συμμόρφωση με τις αρχές της ιατρικής δεοντολογίας (Floridi et al., 2018). Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην ανάπτυξη εξηγήσιμων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, ώστε οι επαγγελματίες υγείας να μπορούν να κατανοούν και να αξιολογούν τις προτάσεις των αλγορίθμων (Yu, Beam & Kohane, 2018; Jiang et al., 2017).

Παράλληλα, προτείνεται η ενίσχυση των μηχανισμών προστασίας των προσωπικών δεδομένων των ασθενών. Η ασφαλής συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία ιατρικών δεδομένων αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης και τη βιώσιμη εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης (Rumbold & Pierscionek, 2017; Bates et al., 2018). Η αυστηρή τήρηση της νομοθεσίας περί προστασίας δεδομένων, σε συνδυασμό με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών κυβερνοασφάλειας, κρίνεται απολύτως αναγκαία (Rajkomar, Dean & Kohane, 2019).

Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει η επένδυση στην εκπαίδευση και τη συνεχή επιμόρφωση των επαγγελματιών υγείας. Η ενσωμάτωση μαθημάτων σχετικών με την τεχνητή νοημοσύνη, την ανάλυση μεγάλων δεδομένων και τις ψηφιακές δεξιότητες στα προγράμματα ιατρικών και νοσηλευτικών σπουδών θα ενισχύσει τη δυνατότητα ορθής και υπεύθυνης χρήσης των νέων τεχνολογιών (Wartman & Combs, 2018; Topol, 2019). Παράλληλα, η διεπιστημονική συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών υγείας, μηχανικών πληροφορικής και ειδικών στην ηθική

της τεχνολογίας θα συμβάλει στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και ανθρωποκεντρικών εφαρμογών (Floridi et al., 2018; Hashimoto et al., 2018).

Ακόμη, προτείνεται η προώθηση πιλοτικών προγραμμάτων εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης σε δημόσιες και ιδιωτικές δομές υγείας, με στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και του κόστους των εφαρμογών αυτών σε πραγματικές συνθήκες (McKinney et al., 2020; Litjens et al., 2017). Τα αποτελέσματα των προγραμμάτων αυτών μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση των συστημάτων και την ευρύτερη εφαρμογή τους σε εθνικό επίπεδο.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμη η ενίσχυση της ενημέρωσης και της ευαισθητοποίησης των πολιτών σχετικά με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην υγεία. Η κατανόηση των δυνατοτήτων αλλά και των περιορισμών της τεχνολογίας από τους ασθενείς μπορεί να ενισχύσει τη συμμετοχή τους στη λήψη αποφάσεων και να συμβάλει στη διαμόρφωση ενός κλίματος αποδοχής και εμπιστοσύνης (Yu, Beam & Kohane, 2018; Kumar et al., 2021).

Συνοψίζοντας, η τεχνητή νοημοσύνη δύναται να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας των υπηρεσιών υγείας, υπό την προϋπόθεση ότι θα αξιοποιηθεί με υπευθυνότητα, επιστημονική τεκμηρίωση και ανθρωποκεντρική προσέγγιση (Topol, 2019; Davenport & Kalakota, 2019).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic Books.
- Gardner, H. (1993). *Multiple Intelligences: The Theory in Practice*. New York: Basic Books.
- Gardner, H. (1999). *Intelligence Reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century*. New York: Basic Books.
- Iberdrola (2023). *All About the Naturalistic Intelligence*. [online] Διαθέσιμο στο: https://www.iberdrola.com/talent/naturalistic-intelligence
- Amann, J., Blasimme, A., Vayena, E., Frey, D. and Madai, V.I., 2020. Explainability for artificial intelligence in healthcare: A multidisciplinary perspective. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), p.310. Available at: https://doi.org/10.1186/s12911-020-01332-6
- Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., Cui, C., Corrado, G.S., Thrun, S. and Dean, J., 2019. A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*, 25(1), pp.24–29. Available at: https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H. and Wang, Y., 2017. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, 2(4), pp.230–243. Available at: https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101
- Morley, J., Machado, C.C.V., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M. and Floridi, L., 2020. The ethics of AI in health care: A mapping review. *Social Science & Medicine*, 260, p.113172. Available at: https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113172
- Obermeyer, Z. and Emanuel, E.J., 2016. Predicting the future — Big data, machine learning, and clinical medicine. *The New England Journal of Medicine*, 375(13), pp.1216–1219. Available at: https://doi.org/10.1056/NEJMp1606181
- Russell, S.J. and Norvig, P., 2021. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. London: Pearson.
- Topol, E., 2019. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. New York: Basic Books.
- Yu, K.H., Beam, A.L. and Kohane, I.S., 2018. Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, 2(10), pp.719–731. Available at: https://doi.org/10.1038/s41551-018-0305-z
- Boden, M., 2016. *AI: Its Nature and Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Bostrom, N., 2017. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford: Oxford University Press.
- Damasio, A., 2018. *The Strange Order of Things: Life, Feeling, and the Making of Cultures*. New York: Pantheon Books.
- Dehaene, S., 2020. *How We Learn: Why Brains Learn Better Than Any Machine... for Now*. New York: Viking.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P. and Vayena, E., 2018.

AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), pp.689–707.
- Gazzaniga, M., Ivry, R. and Mangun, G., 2018. *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind*. 5th ed. New York: W.W. Norton & Company.
- Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A., 2016. *Deep Learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kurzweil, R., 2022. *The Singularity Is Nearer: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking.
- Morley, J., Machado, C.C.V., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M. and Floridi, L., 2020. The ethics of AI in health care: A mapping review. *Social Science & Medicine*, 260, p.113172.
- Russell, S.J. and Norvig, P., 2021. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. London: Pearson.
- Searle, J., 1980. Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), pp.417–457.
- Topol, E., 2019. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. New York: Basic Books.
- Bostrom, N., 2017. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford: Oxford University Press.
- Domingos, P., 2015. *The Master Algorithm: How the Quest for the Ultimate Learning Machine Will Remake Our World*. New York: Basic Books.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P. and Vayena, E., 2018. AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), pp.689–707.
- Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A., 2016. *Deep Learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kurzweil, R., 2022. *The Singularity Is Nearer: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking.
- McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N. and Shannon, C., 1956. *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Dartmouth College.
- Nilsson, N., 2010. *The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Poole, D., Mackworth, A. and Goebel, R., 1998. *Computational Intelligence: A Logical Approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Russell, S. and Norvig, P., 2021. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. London: Pearson.
- Searle, J., 1980. Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), pp.417–457.
- Turing, A.M., 1950. Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), pp.433–460.
- Topol, E., 2019. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. New York: Basic Books.
- Benner, P., 2001. *From Novice to Expert: Excellence and Power in Clinical Nursing Practice*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Engel, G.L., 1977. The need for a new medical model: a challenge for biomedicine. *Science*, 196(4286), pp.129–136.

- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Dignum, V., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P. and Vayena, E., 2018. AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), pp.689–707.
- Keesara, S., Jonas, A. and Schulman, K., 2020. Covid-19 and health care's digital revolution. *New England Journal of Medicine*, 382(23), pp.e82.
- Marmot, M., 2005. Social determinants of health inequalities. *The Lancet*, 365(9464), pp.1099–1104.
- OECD, 2021. *Health at a Glance 2021: OECD Indicators*. Paris: OECD Publishing.
- OECD, 2022. *Health Systems Characteristics Survey*. Paris: OECD Publishing.
- Starfield, B., 1998. *Primary Care: Balancing Health Needs, Services, and Technology*. New York: Oxford University Press.
- World Health Organization (WHO), 1948. *Preamble to the Constitution of the World Health Organization*. Geneva: WHO.
- World Health Organization (WHO), 1978. *Declaration of Alma-Ata*. Geneva: WHO.
- World Health Organization (WHO), 2020. *Global Report on Effective Access to Assistive Technology*. Geneva: WHO.
- Esteva, A. et al., 2017. *Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks*. Nature, 542, pp.115–118.
- Floridi, L. et al., 2018. *AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society*. Minds and Machines, 28(4), pp.689–707.
- Jiang, F. et al., 2017. *Artificial intelligence in healthcare: past, present and future*. Stroke and Vascular Neurology, 2(4), pp.230–243.
- Keesara, S. et al., 2020. *Covid-19 and Health Care's Digital Revolution*. New England Journal of Medicine, 382, pp.e82.
- OECD, 2022. *Health at a Glance 2022: OECD Indicators*. OECD Publishing, Paris.
- Rajkomar, A. et al., 2019. *Machine Learning in Medicine*. New England Journal of Medicine, 380, pp.1347–1358.
- Russell, S. & Norvig, P., 2021. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. Pearson.
- Davenport, T. and Kalakota, R. (2019) *The potential for artificial intelligence in healthcare.* Future Healthcare Journal, 6(2), pp. 94–98.
- Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K. et al. (2019) *A guide to deep learning in healthcare.* Nature Medicine, 25(1), pp. 24–29.
- Liu, X., Faes, L., Kale, A.U., Wagner, S.K., Fu, D.J., Bruynseels, A. et al. (2019) *A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis.* The Lancet Digital Health, 1(6), pp. e271–e297.
- Obermeyer, Z. and Emanuel, E. (2016) *Predicting the future — big data, machine learning, and clinical medicine.* New England Journal of Medicine, 375(13), pp. 1216–1219.
- Rajkomar, A., Dean, J. and Kohane, I. (2019) *Machine learning in medicine.* New England Journal of Medicine, 380(14), pp. 1347–1358.
- Topol, E. (2019) *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again.* New York: Basic Books.

- Vaishya, R., Javaid, M., Khan, I.H. and Haleem, A. (2020) *Artificial Intelligence (AI) applications for COVID-19 pandemic.* Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews, 14(4), pp. 337–339.
- Vamathevan, J., Clark, D., Czodrowski, P., Dunham, I., Ferran, E., Lee, G. et al. (2019) *Applications of machine learning in drug discovery and development.* Nature Reviews Drug Discovery, 18(6), pp. 463–477.
- Yang, G., Zhang, H., Chen, X., Li, S., Lee, P.W.H. and Ka-Wai Kwok, K. (2021) *Recent advances in intelligent surgical robots: Trends, challenges, and outlook.* Advanced Intelligent Systems, 3(1), 2000240.
- Jenner, E. (1798) An Inquiry into the Causes and Effects of the Variolae Vaccinae. London: Sampson Low.
- World Health Organization (1980) The global eradication of smallpox. Geneva: WHO.
- Pasteur, L. (1861) Mémoire sur les corpuscules organisés. Paris: Gauthier-Villars.
- Porter, R. (1999) The Greatest Benefit to Mankind. London: Harper Collins.
- Lister, J. (1867) 'On the Antiseptic Principle in the Practice of Surgery', The Lancet, 90(2299), pp. 353–356.
- Rutkow, I. (2018) Surgery: An Illustrated History. Philadelphia: Elsevier.
- Fleming, A. (1929) 'On the antibacterial action of cultures of a penicillium', British Journal of Experimental Pathology, 10(3), pp. 226–236.
- Davies, J. and Davies, D. (2010) 'Origins and evolution of antibiotic resistance', Microbiology and Molecular Biology Reviews, 74(3), pp. 417–433.
- Beveridge, W. (1942) Social Insurance and Allied Services. London: HMSO.
- World Health Organization (2010) Health systems financing: the path to universal coverage. Geneva: WHO.
- Beam, A.L. and Kohane, I.S. (2020) 'Big data and machine learning in health care', JAMA, 319(13), pp. 1317–1318.
- Morley, J., Floridi, L., Kinsey, L. and Elhalal, A. (2020) 'From what to how: an overview of AI ethics tools, methods and research', Science and Engineering Ethics, 26(4), pp. 2141–2168.
- Shabani, M. and Marelli, L. (2022) 'Re-identifiability of genomic data and the GDPR', EMBO Reports, 23(2), e52984.
- Topol, E. (2019) Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books.
- Vamathevan, J. et al. (2019) 'Applications of machine learning in drug discovery and development', Nature Reviews Drug Discovery, 18(6), pp. 463–477.
- Kowalski, M., Wisniewski, D., Klich, J. & Niewiadomski, T. (2024) Use of Artificial Intelligence tools in supporting decision-making in hospital management. BMC Health Services Research, 24(11602).
- Ghasemi, A., Hashtarkhani, S., Schwartz, D.L. and Shaban-Nejad, A. (2024) 'Explainable artificial intelligence in breast cancer detection and risk prediction: a systematic scoping review'.
- Ghasemi, A., Hashtarkhani, S., Schwartz, D.L. and Shaban-Nejad, A. (2024)
- 'Explainable artificial intelligence in breast cancer detection and risk prediction: a systematic scoping review'.
- Ali, H., Mohsen, F. and Shah, Z. (2023) 'Improving diagnosis and prognosis of lung cancer using vision transformers'.

- Leszczyńska, A., Obuchowicz, R., Strzelecki, M. and Seweryn, M. (2025) 'The integration of artificial intelligence into robotic cancer surgery: a systematic review', *Journal of Clinical Medicine*, 14(17), p. 6181. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40943943/ (Accessed: 15 January 2026).
- Iftikhar, M., Khan, M.A., Khan, S. and Ahmad, R. (2024) 'Artificial intelligence: revolutionizing robotic surgery: review', *Journal of Robotic Surgery*.
- Abbasi, N. . (2024). Artificial Intelligence in Remote Monitoring and Telemedicine. Journal of Artificial Intelligence General Science (JAIGS) ISSN:3006-4023, 1(1), 258–272.
- Porter, R. (1999) The Greatest Benefit to Mankind: A Medical History of Humanity. London: HarperCollins.
- Plotkin, S., Orenstein, W. and Offit, P. (2018) Plotkin's Vaccines. 7th edn. Philadelphia: Elsevier.
- World Health Organization (WHO) (2019) History of Smallpox. Geneva: WHO.
- Baxby, D. (1999) Edward Jenner's Inquiry: A Bicentenary Analysis. London: Royal Society of Medicine Press.
- Brock, T.D. (1999) Robert Koch: A Life in Medicine and Bacteriology. Madison: Science Tech Publishers.
- Pasteur, L. (1861) Mémoire sur les corpuscules organisés. Paris: Académie des Sciences.
- Madigan, M., Bender, K., Buckley, D. and Stahl, D. (2018) Brock Biology of Microorganisms. 15th edn. Boston: Pearson.
- Ellis, H. (2001) A History of Surgery. London: Greenwich Medical Media.
- Lister, J. (1867) 'On the Antiseptic Principle in the Practice of Surgery', The Lancet, 90(2299), pp. 353–356.
- Rutkow, I.M. (1993) Surgery: An Illustrated History. St. Louis: Mosby.
- Fleming, A. (1929) 'On the Antibacterial Action of Cultures of a Penicillium', British Journal of Experimental Pathology, 10(3), pp. 226–236.
- Bud, R. (2007) Penicillin: Triumph and Tragedy. Oxford: Oxford University Press.
- Levy, S.B. and Marshall, B. (2004) 'Antibacterial resistance worldwide', Nature Medicine, 10(12), pp. S122–S129.
- Beveridge, W. (1942) Social Insurance and Allied Services. London: HMSO.
- World Health Organization (WHO) (2010) Health Systems Financing: The Path to Universal Coverage. Geneva: WHO.
- Mossialos, E., Wenzl, M., Osborn, R. and Sarnak, D. (2016) International Profiles of Health Care Systems. New York: The Commonwealth Fund.
- Bates, D.W., Saria, S., Ohno-Machado, L., Shah, A. and Escobar, G. (2018) 'Big data in health care: Using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients', Health Affairs, 33(7), pp. 1123–1131. https://doi.org/10.1377/hlthaff.2014.0041
- Beam, A.L. and Kohane, I.S. (2020) 'Big data and machine learning in health care', JAMA, 319(13), pp. 1317–1318. https://doi.org/10.1001/jama.2017.18391
- Davenport, T. and Kalakota, R. (2019) 'The potential for artificial intelligence in healthcare', Future Healthcare Journal, 6(2), pp. 94–98. https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-2-94
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M. and Thrun, S. (2017) 'Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks', Nature, 542(7639), pp. 115–118. https://doi.org/10.1038/nature21056

- European Union (2016) Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 (General Data Protection Regulation – GDPR). Official Journal of the European Union, L119, pp. 1–88.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H. and Wang, Y. (2017) 'Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future', Stroke and Vascular Neurology, 2(4), pp. 230–243. https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101
- Kourou, K., Exarchos, T.P., Exarchos, K.P., Karamouzis, M.V. and Fotiadis, D.I. (2015) 'Machine learning applications in cancer prognosis and prediction', Computational and Structural Biotechnology Journal, 13, pp. 8–17. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2014.11.005
- Morley, J., Machado, C.C.V., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M. and Floridi, L. (2020) 'The ethics of AI in health care: A mapping review', Social Science & Medicine, 260, 113172. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113172
- OECD (2020) Artificial Intelligence in Society. Paris: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/eedfee77-en
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C. and Mullainathan, S. (2019) 'Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations', Science, 366(6464), pp. 447–453. https://doi.org/10.1126/science.aax2342
- Reddy, S., Fox, J. and Purohit, M.P. (2019) 'Artificial intelligence-enabled healthcare delivery', Journal of the Royal Society of Medicine, 112(1), pp. 22–28. https://doi.org/10.1177/0141076818815510
- Shabani, M. and Marelli, L. (2022) 'Re-identifiability of genomic data and the GDPR', EMBO Reports, 23(2), e54122. https://doi.org/10.15252/embr.202154122
- Topol, E. (2019) Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books.
- Vamathevan, J., Clark, D., Czodrowski, P., Dunham, I., Ferran, E., Lee, G., Li, B., Madabhushi, A., Shah, P. and Spitzer, M. (2019) 'Applications of machine learning in drug discovery and development', Nature Reviews Drug Discovery, 18(6), pp. 463–477. https://doi.org/10.1038/s41573-019-0024-5
- World Health Organization (WHO) (2021) Ethics and governance of artificial intelligence for health. Geneva: WHO.
- Morley, J., Machado, C.C.V., Burr, C., Cowls, J., Joshi, I., Taddeo, M. and Floridi, L. (2020) 'The ethics of AI in health care: A mapping review'
- Shabani, M. and Marelli, L. (2022) 'Re-identifiability of genomic data and the GDPR', EMBO Reports, 23(2), e54122. https://doi.org/10.15252/embr.202154122
- Topol, E. (2019) Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books.
- Ευρωπαϊκή Ένωση (2016) Κανονισμός (ΕΕ) 2016/679 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Απριλίου 2016 (Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων – GDPR). Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L119, pp. 1–88.
- Jenner, E. (1798) An inquiry into the causes and effects of the variolae vaccinae. London: Sampson Low.
- Pasteur, L. (1885) Méthode pour prévenir la rage après morsure. Paris: Gauthier-Villars.
- Plotkin, S. (2014) History of vaccination. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(34), pp. 12283–12287.

- Plotkin, S., Orenstein, W. and Offit, P. (2017) Vaccines. 7th edn. Philadelphia: Elsevier.
- Porter, R. (1999) The greatest benefit to mankind: A medical history of humanity. London: HarperCollins.
- Riedel, S. (2005) 'Edward Jenner and the history of smallpox and vaccination', Proceedings (Baylor University Medical Center), 18(1), pp. 21–25.
- World Health Organization (WHO) (1980) The global eradication of smallpox. Geneva: WHO.
- Brock, T.D. (1999) Robert Koch: A life in medicine and bacteriology. Washington, DC: ASM Press.
- Bynum, W.F. (2013) Science and the practice of medicine in the nineteenth century. Cambridge: Cambridge University Press.
- Debré, P. (1998) Louis Pasteur. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Koch, R. (1890) Über bakteriologische Forschung. Berlin: Springer.
- Pasteur, L. (1861) Mémoire sur les corpuscules organisés. Paris: Gauthier-Villars.
- Porter, R. (1999) The greatest benefit to mankind: A medical history of humanity. London: HarperCollins.
- Tomes, N. (1998) The gospel of germs: Men, women, and the microbe in American life. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Aminov, R.I. (2010) 'A brief history of the antibiotic era', Frontiers in Microbiology, 1, pp. 1–7.
- Davies, J. and Davies, D. (2010) 'Origins and evolution of antibiotic resistance', Microbiology and Molecular Biology Reviews, 74(3), pp. 417–433.
- Fleming, A. (1929) 'On the antibacterial action of cultures of a Penicillium', British Journal of Experimental Pathology, 10(3), pp. 226–236.
- Lax, E. (2004) The mold in Dr. Florey's coat: The story of the penicillin miracle. New York: Henry Holt.
- Porter, R. (1999) The greatest benefit to mankind: A medical history of humanity. London: HarperCollins.
- Bates, D.W., Saria, S., Ohno-Machado, L., Shah, A. and Escobar, G. (2014) 'Big data in health care: Using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients', Health Affairs, 33(7), pp. 1123–1131.
- OECD (2020) Health in the 21st century: Putting data to work for stronger health systems. Paris: OECD Publishing.
- Smith, A.C., Thomas, E., Snoswell, C.L. et al. (2020) 'Telehealth for global emergencies: Implications for coronavirus disease 2019 (COVID-19)', Journal of Telemedicine and Telecare, 26(5), pp. 309–313.
- Topol, E. (2019) Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again. New York: Basic Books.
- World Health Organization (WHO) (2019) WHO guideline: Recommendations on digital interventions for health system strengthening. Geneva: WHO.
- Wootton, R. (2012) Telemedicine: A cautious welcome. London: Royal Society of Medicine Press.
- Bates, D.W., Saria, S., Ohno-Machado, L., Shah, A. and Escobar, G. (2018) 'Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients', *Health Affairs*, 33(7), pp. 1123–1131.
- Davenport, T. and Kalakota, R. (2019) 'The potential for artificial intelligence in healthcare', *Future Healthcare Journal*, 6(2), pp. 94–98.

- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M. and Thrun, S. (2017) 'Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks', *Nature*, 542(7639), pp. 115–118.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., et al. (2018) 'AI4People—An ethical framework for a good AI society', *Minds and Machines*, 28(4), pp. 689–707.
- Hashimoto, D.A., Rosman, G., Rus, D. and Meireles, O.R. (2018) 'Artificial intelligence in surgery: promises and perils', *Annals of Surgery*, 268(1), pp. 70–76.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H. and Wang, Y. (2017) 'Artificial intelligence in healthcare: past, present and future', *Stroke and Vascular Neurology*, 2(4), pp. 230–243.
- Jobin, A., Ienca, M. and Vayena, E. (2019) 'The global landscape of AI ethics guidelines', *Nature Machine Intelligence*, 1(9), pp. 389–399.
- Kumar, S., Rani, M., Kaur, P. and Gupta, D. (2021) 'Artificial intelligence-based personalized medicine: recent advances and future perspectives', *Journal of Personalized Medicine*, 11(4), p. 278.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B.E., et al. (2017) 'A survey on deep learning in medical image analysis', *Medical Image Analysis*, 42, pp. 60–88.
- McKinney, S.M., Sieniek, M., Godbole, V., et al. (2020) 'International evaluation of an AI system for breast cancer screening', *Nature*, 577(7788), pp. 89–94.
- Rajkomar, A., Dean, J. and Kohane, I. (2019) 'Machine learning in medicine', *New England Journal of Medicine*, 380(14), pp. 1347–1358.
- Rumbold, J.M.M. and Pierscionek, B. (2017) 'The effect of the General Data Protection Regulation on medical research', *Journal of Medical Internet Research*, 19(2), e47.
- Topol, E. (2019) *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. New York: Basic Books.
- Wartman, S.A. and Combs, C.D. (2018) 'Medical education must move from the information age to the age of artificial intelligence', *Academic Medicine*, 93(8), pp. 1107–1109.
- Yang, G.Z., Cambias, J., Cleary, K., et al. (2017) 'Medical robotics—Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy', *Science Robotics*, 2(4), eaam8638.
- Yu, K.H., Beam, A.L. and Kohane, I.S. (2018) 'Artificial intelligence in healthcare', *Nature Biomedical Engineering*, 2(10), pp. 719–731.