



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«Βελτιστοποίηση του χειρουργικού σχεδιασμού εγκεφάλου με βάση τις μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και των ραδιογονιδιωμάτων»

υπό

Ιορδάνη Γεωργιάδη

Επιβλέπων Καθηγητής

Τσούγκος Ιωάννης-Χρυσοβαλάντης

Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής Τ.Ι. Π.Θ.

«Εργασία υποβληθείσα στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος
Ειδίκευσης με τίτλο «Φυσικές Αρχές Βιοϊατρικής Απεικόνισης και
Ακτινοπροστασία»

Λάρισα, 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Τεχνητή νοημοσύνη.....	9
1.2 Μηχανική μάθηση.....	12
1.3 Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση στην ιατρική επιστήμη.....	14
1.4 Ερευνητικά ερωτήματα.....	19
1.5 Σημασία της έρευνας.....	19
1.6 Σκοπός της έρευνας.....	19
2. Μεθοδολογία.....	20
2.1 Ερευνητικό σχέδιο.....	20
2.2 Σχεδιασμός συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	21
2.2.1 <i>Στάδιο 1: Σαφής διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων.....</i>	<i>21</i>
2.2.2 <i>Καθορισμός κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού.....</i>	<i>22</i>
2.2.3 <i>Αξιολόγηση ποιότητας μελετών.....</i>	<i>22</i>
2.2.4 <i>Σύνοψη των στοιχείων.....</i>	<i>22</i>
2.2.5 <i>Ερμηνεία ευρημάτων.....</i>	<i>22</i>
2.3 Στόχοι τρέχουσας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	23
2.4 Στρατηγική αναζήτησης και επιλογής μελετών.....	23
2.5 Κριτήρια ένταξης.....	24
3. Αποτελέσματα.....	25
3.1 Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην νευρο-ογκολογία.....	25
3.2 Χειρουργικός σχεδιασμός εγκεφάλου με ραδιογονιδιώματα.....	28
3.2.1 <i>Γλοιοβλάστωμα.....</i>	<i>28</i>
3.2.2 <i>Μοριακές ταξινομήσεις και δείκτες.....</i>	<i>32</i>
3.2.3 <i>Χειρουργικός σχεδιασμός.....</i>	<i>35</i>
3.2.4 <i>Προκλήσεις.....</i>	<i>38</i>
4. Συζήτηση/Συμπεράσματα.....	40
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	44

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1-1 Γενικό πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης.....	10
Διάγραμμα 1-2 Βαθύ Νευρωνικό Δίκτυο.....	13
Διάγραμμα 1-3 Η τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική.....	15
Διάγραμμα 1-4 Ροή εργασιών της ραδιομικής και της ραδιογονιδιωματικής στην εξατομικευμένη ιατρική.....	17
Διάγραμμα 3-1 Τεχνητή νοημοσύνη (AI), μηχανική μάθηση (ML) και βαθιά μάθηση στην κλινική ροή εργασίας των νευροογκολογικών ασθενών.....	27
Διάγραμμα 3-2 Διαφορές ποσοστού επιβίωσης με βάση την ηλικία.....	30
Διάγραμμα 3-3 Διαφορές ποσοστού επιβίωσης με βάση το φύλο.....	31
Διάγραμμα 3-4 Εξαγωγή υφής ή ραδιομικών χαρακτηριστικών.....	33
Διάγραμμα 3-5 Πρωτόκολλο ραδιομικής.....	36

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη.....	15
Πίνακας 2-1 Στάδια συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	21
Πίνακας 2-2 Όροι ευρετηρίασης συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	23
Πίνακας 3-1 Συχνές μεταλλάξεις στα γλοιοβλαστώματα.....	34

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή Ιατρικής Φυσικής του τμήματος Ιατρικής του Π.Θ. κo Τσούγκo Ιωάννη-Χρυσoβαλάντη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, το οποίο άπτεται της ιδιότητας μου ως Νευροχειρουργός.

Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί πως η παρουσία του εν λόγω προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών αποτελεί ένα επιστημονικό “διαμάντι” για τα Ελληνικά δρώμενα, αφενός μεν διότι είναι η πρώτη φορά που οργανώθηκε τέτοιο πρόγραμμα, αφετέρου δε το ευρύ επιστημονικό του πεδίο αποτελεί σημαντικό πόλο έλξης για ένα μεγάλο μέρος των Ελλήνων επιστημόνων που ασχολούνται με τις Νευροεπιστήμες και όχι μόνο.

Την κα Κασαλάκη Ευτυχία, καθηγήτρια Ακτινολογίας του τμήματος Ιατρικής του Π.Θ. στην οποία οφείλω το πραγματικό ενδιαφέρον που τρέφω από τα χρόνια της ειδικότητας μου στο Π.Γ.Ν.Α. στην Νευροακτινολογία.

Δάσκαλοι-Ακαδημαϊκοί όπως η κα Κασαλάκη πραγματικά κοσμούν την Ελληνική επιστημονική κοινότητα, δεδομένου πως είναι ένας “Φάρος” γνώσης, καλοσύνης και δωρητής καλοπροαίρετης συμπεριφοράς προς εμάς τους Χειρουργούς.

Την κα Σάτρα Μαρία, Επίκ. Καθηγήτρια Βιολογίας τμήματος Δημόσιας υγείας του Π.Θ η οποία αποτελεί φωτεινό παράδειγμα αγάπης προς τις βασικές επιστήμες όπως είναι η βιολογία. Πραγματικά το πάθος της αποτελεί παράδειγμα προς μίμηση, και μόνο όφελος γνώσεων λαμβάνουμε εμείς οι κλινικοί Ιατροί.

Δε ζυγιάζω, δε μετρώ, δε βολεύομαι!

Ακολουθώ το βαθύ μου χτυποκάρδι.

(«Ασκητική»)

Νίκος Καζαντζάκης, 1883-1957

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική διερευνά τους τρόπους βελτιστοποίησης του χειρουργικού σχεδιασμού εγκεφάλου με χρήση των μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και ραδιογονιδιωματικής. Η μαγνητική τομογραφία (MRI) χρησιμοποιείται ευρέως για τον χαρακτηρισμό των γλοιωμάτων, τα οποία αντιπροσωπεύουν το 52% όλων των πρωτοπαθών όγκων του εγκεφάλου. Από κλινική άποψη, η απεικόνιση χρησιμοποιείται συχνά προεγχειρητικά για διάγνωση και πρόγνωση, και μετεγχειρητικά για επιτήρηση. Από ερευνητική άποψη, η αξιολόγηση MRI παρέχει μία τυποποιημένη μέθοδο καθορισμού των βασικών γραμμών για την θεραπεία των ασθενών και την αναγνώριση των τελικών σημείων παρακολούθησης της ανταπόκρισης στις σχετικές θεραπείες.

Την τελευταία δεκαετία γίνεται όλο και περισσότερο κατανοητό ότι μπορεί να υπάρχουν σημαντικά περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ογκολογία που μπορούν να ληφθούν με την απεικόνιση μέσω της τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνητή νοημοσύνη και οι εφαρμογές της συμβάλλουν στη βελτίωση της ακρίβειας κατά την ανίχνευση του όγκου και, κατά συνέπεια, και στη διάγνωση της νόσου.

Εφαρμόζοντας συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναβρέθηκαν 65 άρθρα σχετικά με τα ερευνητικά ερωτήματα εκ των οποίων επιλέχθηκαν τα 52 (80,%). Διαπιστώθηκε ότι έως κάποιον βαθμό, τα συστήματα που βασίζονται σε τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να συνεισφέρουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας διάγνωσης των όγκων του εγκεφάλου.

Η ραδιογονιδιωματική συμβάλλει στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου μέσω της ακριβούς διάγνωσης, η οποία απαιτεί αυστηρή οριοθέτηση του ιστού που επηρεάζεται από τον όγκο. Η αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της ραδιογονιδιωματικής στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου συνδέεται με το γεγονός ότι η απεικονιστική διάγνωση είναι ζωτικής σημασίας για την έγκαιρη ανίχνευση και παρακολούθηση των όγκων του εγκεφάλου. Με τον τρόπο αυτόν, βελτιώνει σημαντικά την πρόβλεψη της πρόγνωσης και την αξιολόγηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία. Τέλος, η τεχνητή νοημοσύνη σχετίζεται με τη μοριακή διάγνωση, την πρόγνωση και την παρακολούθηση της θεραπείας με στόχο τη δημιουργία ενός δομημένου πόρου για τη ραδιογονιδιωματική ανάλυση του γλοιώματος.

Από την άλλη πλευρά, χαρακτηριστικά όπως η κριτική σκέψη, οι διαπροσωπικές και επικοινωνιακές δεξιότητες, η συναισθηματική νοημοσύνη και η δημιουργικότητα δεν μπορούν να βελτιωθούν από τις μηχανές.

Λέξεις-κλειδιά: χειρουργικός σχεδιασμός, χειρουργική εγκεφάλου, προηγμένη απεικόνιση, τεχνητή νοημοσύνη, ραδιογονιδιωματική

ABSTRACT

The dissertation explores ways to optimize brain surgical planning using artificial intelligence and radiogenomics methods. Magnetic resonance imaging (MRI) is widely used to characterize gliomas, which account for 52% of all primary brain tumors. Clinically, imaging is often used preoperatively for diagnosis and prognosis, and postoperatively for surveillance. From a research perspective, MRI assessment provides a standardized method of establishing baselines for patient treatment and identifying endpoints for monitoring response to appropriate therapies.

Over the last decade, it has become increasingly understood that there may be significantly more information about an oncological disease that can be obtained from imaging through artificial intelligence. Artificial intelligence and its applications help improve accuracy in tumor detection and, consequently, disease diagnosis.

Through a systematic literature review, 65 articles related to the research questions were found, of which 52 (80.%) were selected. It was found that to some extent, systems based on artificial intelligence technologies can improve the efficiency of the brain tumor diagnosis process.

Radiogenomics has been found to contribute to brain surgical planning through accurate diagnosis, which requires strict delineation of tumor-affected tissue. The reliability and effectiveness of radiogenomics in brain surgical planning are linked to the fact that imaging diagnosis is crucial for the early detection and follow-up of brain tumors. In this way, it significantly improves prognosis prediction and the response to treatment assessment. Finally, AI relates to molecular diagnosis, prognosis, and treatment monitoring with the goal of creating a structured resource for radiogenomic analysis of glioma. On the other hand, traits such as critical thinking, interpersonal and communication skills, emotional intelligence, and creativity cannot be enhanced by machines.

Keywords: surgical planning, brain surgery, advanced imaging, artificial intelligence, radiogenomics

1. Εισαγωγή

Η νευροχειρουργική είναι ένας πολύπλοκος τομέας όσον αφορά τις πολλές ώρες και τα χρόνια εκπαίδευσης, το υψηλό επίπεδο νοημοσύνης, τις δεξιότητες λήψης αποφάσεων και τις χειρουργικές δεξιότητες. Οι νευροχειρουργοί συνήθως εργάζονται σε διεπιστημονικές ομάδες που περιλαμβάνουν άλλους ειδικούς από αναισθησιολόγους, νευρολόγους, ειδικευμένους νοσηλευτές, ακόμη και φοιτητές ιατρικής, ενώ το σύνολο δεξιοτήτων που απαιτούνται μπορεί να ποικίλλει περιλαμβάνοντας υψηλές αντοχές, καλό συντονισμό ματιών και χεριών και χειρωνακτική επιδεξιότητα (Wise, 2020).

Με την πρόσφατη πρόοδο της τεχνολογίας, έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence, AI) και της μηχανικής μάθησης (machine learning, ML) στην υγειονομική περίθαλψη και την κλινική πρακτική, καθώς μπορούν να αυξήσουν εκθετικά την επεξεργασία δεδομένων που παράγονται στο σύγχρονο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης και να παρέχουν σχετικά κλινικά αποτελέσματα (Dagi et al., 2021). Επιπλέον, η χρήση αυτών των τεχνολογιών έχει συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των ιατρικών λαθών. Έχει υπολογιστεί ότι τα ιατρικά λάθη που θα μπορούσαν να προληφθούν οδηγούν περίπου 98.000 Αμερικανούς σε θάνατο ετησίως, με τα χειρουργικά λάθη να προκαλούν μεγάλο κόστος στην οικονομία των ΗΠΑ. Επιπλέον, η αναλογία των νευροχειρουργικών σφαλμάτων δεν είναι γνωστή, γεγονός που καθιστά τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της επέμβασης αδιαφανή (Rolston et al., 2014). Όπως υπογραμμίζουν οι (Dundar et al., 2022), οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στη νευροχειρουργική έχουν αυξανόμενη δυναμική δεδομένου ότι, τα τελευταία χρόνια, η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης προσδιορίζει μια σχέση μεταξύ της νευροεπιστήμης και της τεχνητής νοημοσύνης και συνδέει τη γνώση και την κατανόηση του εγκεφάλου με τον τρόπο προσομοίωσης του εγκεφάλου. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, ως υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης, είναι σε θέση να μαθαίνουν με εμπειρίες, να εκτελούν ανάλυση μεγάλων δεδομένων και να εκτελούν εργασίες σχεδόν όπως οι άνθρωποι. Επιπλέον, οι ενδοκρανιακές χειρουργικές προσεγγίσεις που έχουν καθοριστεί και αναπτυχθεί τον τελευταίο αιώνα έχουν γίνει πιο αποτελεσματικές με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Σε αυτό συναινεί και η μελέτη των Senders et al. (2018) που επιβεβαιώνουν ότι οι αλγόριθμοι ML έχουν τη δυνατότητα

να αυξάνουν την κλινική λήψη αποφάσεων των κλινικών ιατρών σε νευροχειρουργικές εφαρμογές. Μόνο την τελευταία δεκαετία, έχει επιδειχθεί μεγάλο ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στη νευροχειρουργική καθώς μπορεί να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα και μοτίβα από αυτά που παρατηρούνται από τους ανθρώπους. Άλλωστε, η χρήση προηγμένης τεχνολογίας στον τομέα της νευροχειρουργικής ήταν πάντα σε άνοδο. Η χρήση της μαγνητικής τομογραφίας και της αξονικής τομογραφίας ως διαγνωστικών απεικονιστικών μεθόδων έδειξε ότι οι νευροχειρουργοί σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν τεχνολογία αιχμής για τη διάγνωση και τη διαχείριση ασθενών και για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των ασθενών (Mofatteh, 2021).

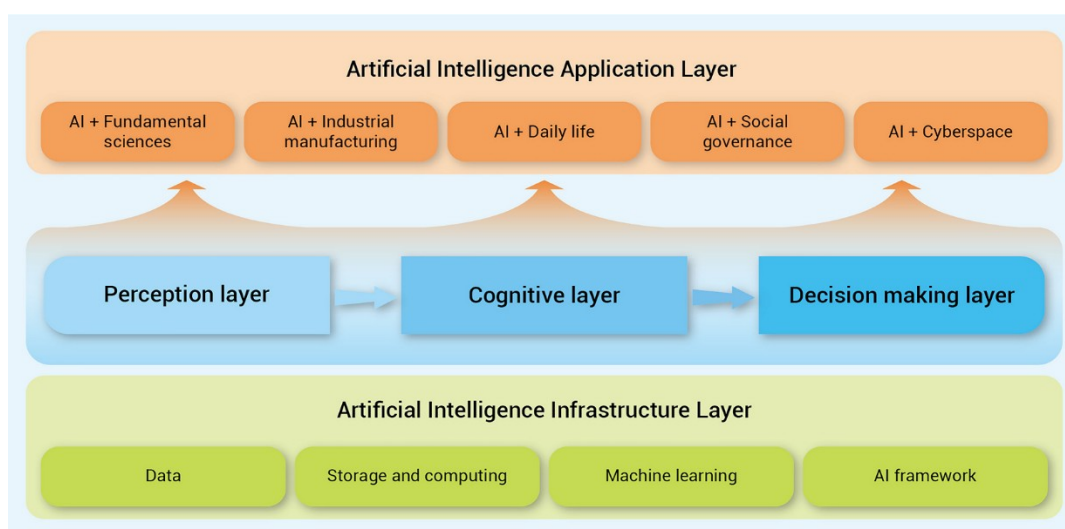
1.1 Τεχνητή νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στα συστήματα υπολογιστών που μπορούν να αναπαράγουν τις γνωστικές ικανότητες του ανθρώπινου εγκεφάλου όπως η μάθηση, η λογική και η αυτοδιόρθωση. Στην απλούστερη μορφή της, η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένα πεδίο που συνδυάζει την επιστήμη των υπολογιστών και ισχυρά σύνολα δεδομένων για να επιτρέψει την επίλυση προβλημάτων. Περιλαμβάνει επίσης τα υποπεδία της μηχανικής μάθησης και της βαθιάς μάθησης, τα οποία αναφέρονται συχνά σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτοί οι κλάδοι αποτελούνται από αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης που επιδιώκουν να δημιουργήσουν έμπειρα συστήματα που κάνουν προβλέψεις ή ταξινομήσεις βάσει δεδομένων εισόδου (IBM, 2020).

Σύμφωνα με τους Xu et al. (2021), η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται σε συστήματα ή ρομπότ που μοιάζουν με την ανθρώπινη νοημοσύνη για την εκτέλεση εργασιών και μπορούν να βελτιωθούν επαναληπτικά με βάση τα δεδομένα που συλλέγουν. Με τον τρόπο αυτόν, η τεχνητή νοημοσύνη λειτουργεί ακριβώς όπως μια προσομοίωση της νοημοσύνης του ανθρώπινου εγκεφάλου και ο στόχος της είναι να αναπτύξει συστήματα που έχουν χαρακτηριστικά όπως λήψη αποφάσεων, δια βίου μάθηση, μάθηση μέσω συσχέτισης, μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη μνήμη, αναγνώριση, ταξινόμηση των μαθησιακών ικανοτήτων και αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.

Το γενικό πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης απεικονίζεται στο Διάγραμμα 1-1. Η διαδικασία ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης περιλαμβάνει την αντιληπτική

νοημοσύνη (perception layer), τη γνωστική νοημοσύνη (cognitive layer) και τη νοημοσύνη λήψης αποφάσεων (decision making layer). Η αντιληπτική νοημοσύνη σημαίνει ότι μια μηχανή έχει τις βασικές ικανότητες της όρασης, της ακοής, της αφής κ.λπ., οι οποίες είναι γνωστές στον άνθρωπο. Η γνωστική νοημοσύνη είναι μια ικανότητα επαγωγής, συλλογισμού και απόκτησης γνώσης υψηλότερου επιπέδου. Το επίπεδο γνωστικής νοημοσύνης είναι εμπνευσμένο από τη γνωστική επιστήμη, την επιστήμη του εγκεφάλου και την εγκεφαλική νοημοσύνη για να προσδώσει στις μηχανές λογική σκέψη και γνωστική ικανότητα παρόμοια με τα ανθρώπινα όντα. Από τη στιγμή που μια μηχανή έχει τις ικανότητες αντίληψης και γνώσης, συχνά αναμένεται να λάβει βέλτιστες αποφάσεις με στόχο να βελτιώσει τη ζωή των ανθρώπων, τη βιομηχανική κατασκευή κ.λπ. Τέλος, η νοημοσύνη λήψης αποφάσεων απαιτεί τη χρήση της εφαρμοσμένης επιστήμης δεδομένων, της κοινωνικής επιστήμης, της θεωρίας αποφάσεων, και της διοικητικής επιστήμης για την επέκταση της επιστήμης δεδομένων, έτσι ώστε να λαμβάνονται οι βέλτιστες αποφάσεις.



Διάγραμμα 1-1 Γενικό πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης

Πηγή: Xu et al. (2021)

Για να επιτευχθεί ο στόχος της αντιληπτικής νοημοσύνης, της γνωστικής νοημοσύνης και της ευφυΐας λήψης αποφάσεων, απαιτείται το επίπεδο υποδομής της τεχνητής νοημοσύνης, που υποστηρίζεται από δεδομένα, αποθήκευση και υπολογιστική ισχύ, αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, και πλαίσια τεχνητής νοημοσύνης. Στη συνέχεια, μέσω μοντέλων εκπαίδευσης, είναι σε θέση να μάθει τους εσωτερικούς νόμους των δεδομένων για την υποστήριξη και την υλοποίηση εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης.

Το επίπεδο εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης γίνεται όλο και πιο εκτεταμένο και ενσωματώνεται σε βάθος με τις θεμελιώδεις επιστήμες, τη βιομηχανική κατασκευή, την ανθρώπινη ζωή, την κοινωνική διακυβέρνηση και τον κυβερνοχώρο, κάτι που έχει βαθύ αντίκτυπο στην εργασία και τον τρόπο ζωής του σύγχρονου ανθρώπου.

Σήμερα, υπάρχουν πολλές πραγματικές εφαρμογές συστημάτων που εφαρμόζουν την τεχνητή νοημοσύνη. Για παράδειγμα, η αυτόματη αναγνώριση ομιλίας (Automatic Speech Recognition, ASR) είναι η χρήση της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία της ανθρώπινης ομιλίας σε ευανάγνωστο κείμενο. Η εφαρμογή αναγνωρίζει την ομιλία σε υπολογιστή και χρησιμοποιεί την επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural language processing, NLP), η οποία εστιάζει στο να βοηθήσει τους υπολογιστές να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι γράφουν και μιλούν. Αυτό είναι ένα δύσκολο έργο γιατί περιλαμβάνει πολλά μη δομημένα δεδομένα. Το στυλ με το οποίο οι άνθρωποι μιλούν και γράφουν (μερικές φορές αναφέρεται ως «τόνος φωνής») είναι μοναδικό για τα άτομα και εξελίσσεται συνεχώς. Οι περιπτώσεις χρήσης του NLP περιλαμβάνουν βοηθούς με φωνητικό έλεγχο όπως η Siri και η Alexa, τη δημιουργία φυσικής γλώσσας για απάντηση ερωτήσεων από chatbot εξυπηρέτησης πελατών, τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πρόσληψης σε ιστότοπους όπως το LinkedIn, σαρώνοντας τις δεξιότητες και την εμπειρία των ατόμων που αναφέρονται, εργαλεία όπως το Grammarly που χρησιμοποιούν το NLP για να βοηθήσουν στη διόρθωση σφαλμάτων και να κάνουν προτάσεις για την απλοποίηση της σύνθετης γραφής και μοντέλα γλώσσας όπως η αυτόματη συμπλήρωση, τα οποία εκπαιδεύονται να προβλέπουν τις επόμενες λέξεις σε ένα κείμενο, με βάση αυτά που έχουν ήδη πληκτρολογηθεί (University of York, 2022). Γενικότερα, το πεδίο της αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας έχει αυξηθεί εκθετικά την τελευταία δεκαετία, με τα συστήματα ASR να εμφανίζονται σε δημοφιλείς εφαρμογές που χρησιμοποιούνται καθημερινά, όπως το TikTok και το Instagram για υπότιτλους σε πραγματικό χρόνο, το Spotify για μεταγραφές podcast, το Zoom για μεταγραφές συσκέψεων και άλλα (Chang and Mukherjee, 2022).

Ένα άλλο πεδίο εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης είναι η εξυπηρέτηση πελατών. Οι διαδικτυακοί εικονικοί πράκτορες αντικαθιστούν τους ανθρώπινους πράκτορες απαντώντας σε συχνές ερωτήσεις σχετικά με διάφορα θέματα ή παρέχοντας εξατομικευμένες συμβουλές και προτείνοντας διασταυρούμενες πωλήσεις προϊόντων στους χρήστες. Με τον τρόπο αυτόν, ενισχύουν την αφοσίωση των πελατών σε

ιστότοπους και πλατφόρμες μέσω κοινωνικής δικτύωσης. Παραδείγματα περιλαμβάνουν bots ανταλλαγής μηνυμάτων σε ιστότοπους ηλεκτρονικού εμπορίου με εικονικούς πράκτορες, εφαρμογές ανταλλαγής μηνυμάτων, όπως το Slack και το Facebook Messenger, και εργασίες που συνήθως εκτελούνται από εικονικούς βοηθούς και βοηθούς φωνής (Ho, 2021).

Με την έλευση της εποχής των μεγάλων δεδομένων, η εξόρυξη δεδομένων έχει γίνει μια από τις βασικές τεχνολογίες στον τομέα της έρευνας και των επιχειρήσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η εξόρυξη δεδομένων με βάση τα συστήματα συστάσεων έχει αποκτήσει ευρεία χρήση. Οι μηχανές συστάσεων χρησιμοποιούν δεδομένα συμπεριφοράς της προηγούμενης κατανάλωσης ώστε οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης να συμβάλουν στην ανακάλυψη τάσεων και στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών στρατηγικών cross-selling. Οι μηχανές συστάσεων χρησιμοποιούνται για την παροχή σχετικών συστάσεων πρόσθετων στους πελάτες κατά τη διαδικασία ολοκλήρωσης αγοράς σε διαδικτυακούς λιανοπωλητές (Cui, 2021).

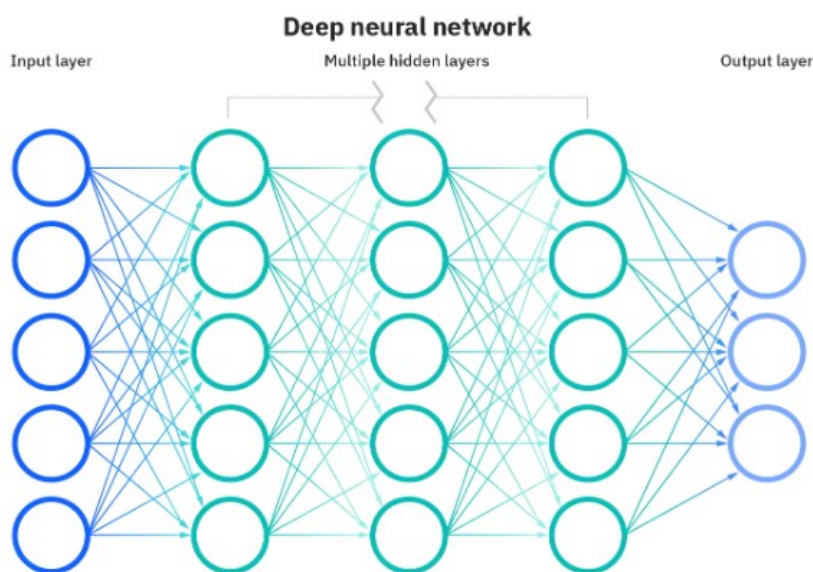
1.2 Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση είναι μια στατιστική τεχνική για την προσαρμογή μοντέλων σε δεδομένα και μια από τις πιο κοινές μορφές τεχνητής νοημοσύνης. Έρευνα της Deloitte (2018) σε δείγμα 1.100 μάνατζερ σε οργανισμούς των ΗΠΑ, οι οποίοι ήδη επιδίωκαν την χρήση τεχνητής νοημοσύνης, αναφέρει ότι το 63% των εταιρειών που συμμετείχαν στην έρευνα χρησιμοποιούσαν μηχανική μάθηση στις επιχειρήσεις τους με στόχο να μειώσουν το λειτουργικό κόστος μέσω της αυτοματοποίησης

Τα μοντέλα Deep Learning είναι αρχιτεκτονικές που βασίζονται σε δεδομένα με επιδόσεις αιχμής σε όλες σχεδόν τις σύγχρονες εργασίες επεξεργασίας δεδομένων. Αυτές οι καινοτόμες προσεγγίσεις προσφέρουν πλήρως αυτοματοποιημένες διόδους ανάλυσης δεδομένων, υπολογίζοντας διακριτικά χαρακτηριστικά για την επίτευξη της υψηλότερης απόδοσης στη δεδομένη εργασία. Οι παράμετροι του μοντέλου μαθαίνονται μόνο από τα δεδομένα ενημερώνοντας την εσωτερική του αναπαράσταση κατά τη διαδικασία βελτιστοποίησης με στόχο την προσέγγιση της βέλτιστης κατάστασης σύγκλισης. Επιπλέον, οι αρχιτεκτονικές πολλαπλών διαδρομών επιτρέπουν σε διαφορετικούς τύπους δεδομένων να συνυπάρχουν στο ίδιο

μοντέλο παρέχοντας νέες ευκαιρίες συνδυασμού απεικόνισης, κλινικών, εργαστηριακών, μοριακών και γενετικών δεδομένων προς ενοποιημένα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων ΑΙ που επεκτείνουν τα διαθέσιμα πλαίσια (Trivizakis et al., 2020).

Ο τρόπος με τον οποίο η βαθιά μάθηση και η μηχανική μάθηση διαφέρουν είναι στο πώς μαθαίνει κάθε αλγόριθμος. Η βαθιά μηχανική εκμάθηση μπορεί να χρησιμοποιήσει επισημασμένα σύνολα δεδομένων, γνωστά και ως εποπτευόμενη μάθηση, προαιρετικά για να ενημερώσει τον αλγόριθμό της. Στην ουσία, μπορεί να απορροφήσει μη δομημένα δεδομένα στην ακατέργαστη μορφή τους (π.χ. κείμενο, εικόνες) και να καθορίσει αυτόματα το σύνολο των χαρακτηριστικών που διακρίνουν διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων μεταξύ τους. Αυτό εξαλείφει μέρος της ανθρώπινης παρέμβασης που απαιτείται και επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερων συνόλων δεδομένων με το βαθύ νευρωνικό δίκτυο (Διάγραμμα 1-2).



Διάγραμμα 1-2 Βαθύ Νευρωνικό Δίκτυο

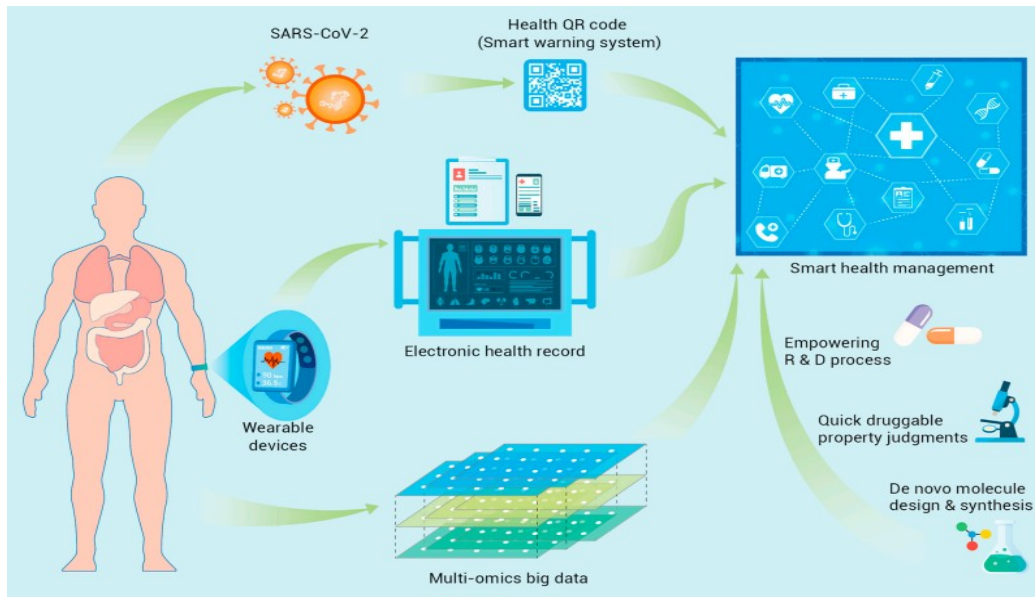
Πηγή: IBM (2022)

1.3 Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση στην ιατρική επιστήμη

Η χρήση της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης γίνεται όλο και πιο σημαντική στις καθημερινές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων των ιατρικών τομέων. Με τις αυξανόμενες ανάγκες υγειονομικής περίθαλψης για τους ασθενείς, οι ανάγκες των νοσοκομείων εξελίσσονται από τη δικτύωση πληροφοριών στο Internet Hospital και τελικά στο Smart Hospital. Ταυτόχρονα, τα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης και η απόδοση του υλικού αυξάνονται ραγδαία με στόχο κοινοί αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης, όπως το NLP και η εξόρυξη δεδομένων, να αρχίσουν να ενσωματώνονται στην αγορά ιατρικού εξοπλισμού (Davenport and Kalakota, 2019).

Τα τελευταία χρόνια, με την έλευση της εποχής της επιστήμης των υπολογιστών και των μεγάλων δεδομένων, η τεχνητή νοημοσύνη άρχισε σταδιακά να επεκτείνεται και να χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους καρκίνους ως νέο εργαλείο για την εξόρυξη δεδομένων. Μέσω της δημιουργίας μίας κλινικής βάσης δεδομένων με εκατομμύρια ιατρικά αρχεία και παθολογικά δεδομένα έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο ιατρικών εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης. Ένας τέτοιος αλγόριθμος ανάλυσης τεχνητής νοημοσύνης βοηθά τους γιατρούς να έχουν πρόσβαση στην ταχεία επαναληπτική εκπαίδευση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης, στο μοντέλο προγνωστικής πρόβλεψης, και στον διαδικτυακό υπολογιστή προγνωστικών αποτελεσμάτων, ο οποίος προβλέπει με ακρίβεια τον κίνδυνο μετεγχειρητικής υποτροπής και θανάτου σε ασθενείς με καρκίνο του τραχήλου της μήτρας (Διάγραμμα 1-3). Τα εργαλεία αυτά καθοδηγούν καλύτερα την πρόγνωση του καρκίνου αλλά και τη λήψη αποφάσεων στη μετεγχειρητική επικουρική θεραπεία. Παραδείγματος χάρη, εμπειρική μελέτη σχετικά με τον καρκίνο του τραχήλου της μήτρας (Wang et al., 2019) αναφέρει ότι η συμβατική στρατηγική προσυμπτωματικού ελέγχου για τον καρκίνο του τραχήλου της μήτρας υιοθετεί κυρίως το μοντέλο των «τριών σταδίων» (κυτταρολογία του τραχήλου της μήτρας, κολποσκόπηση, ιστοπαθολογία). Επιπλέον, λόγω της έλλειψης γνώσεων από τους γιατρούς σε ορισμένα πρωτοβάθμια νοσοκομεία, οι ασθενείς δεν μπορούν να λάβουν τις καλύτερες αποφάσεις διάγνωσης και θεραπείας.

Οι τρέχουσες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-1.



Διάγραμμα 1-3 Η τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική

Πηγή: Xu et al. (2021)

Πίνακας 1-1 Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη

Τεχνολογία	Εφαρμογή
Ρομποτική	Παροχή θεραπείας υψηλής ποιότητας βελτιώνοντας την ακρίβεια των χειρουργικών επεμβάσεων
Ψηφιακή γραμματέας	Εντοπισμός της ώρας κατάλληλης παρέμβασης παρακολουθώντας συνεχώς την κατάσταση των δεικτών του ασθενούς και ειδοποιώντας τη νοσοκόμα όταν χρειάζεται
Μηχανική μάθηση	Πρόβλεψη και ανάλυση μοτίβων με βάση τα δεδομένα που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της θεραπείας. Μείωση της αβεβαιότητας στη λήψη αποφάσεων ιατρικής περίθαλψης με την επεξεργασία μεγάλων όγκων διαγνωστικών ιατρικών εικόνων
Επεξεργασία εικόνας	Γρήγορη επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων ιατρικών εικόνων και εφαρμογή των ευρημάτων για την αξιολόγηση του τύπου της νόσου καθώς και αρνητικών και θετικών αποτελεσμάτων δοκιμών
Επεξεργασία φυσικής γλώσσας	Μετατροπή μακροσκελών αδόμητων δεδομένων κειμένου, όπως ιατρικοί χάρτες, για εύκολη ανάγνωση και ερμηνεία
Αναγνώριση φωνής	Αποτύπωση της φωνής και της γλώσσας του ασθενούς και αποθήκευση σημαντικών πληροφοριών σε ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία
Στατιστική ανάλυση	Πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της θεραπείας του ασθενούς μέσω της ταχείας ανάλυσης μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων.
Ανάλυση μεγάλων δεδομένων	Παροχή εξατομικευμένων συστάσεων στους ασθενείς και θεραπευτικών μέσων από την επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που διατηρούνται από ιδρύματα υγειονομικής περίθαλψης
Προγνωστική μοντελοποίηση	Πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της θεραπείας εφαρμόζοντας μαθηματικά μοντέλα

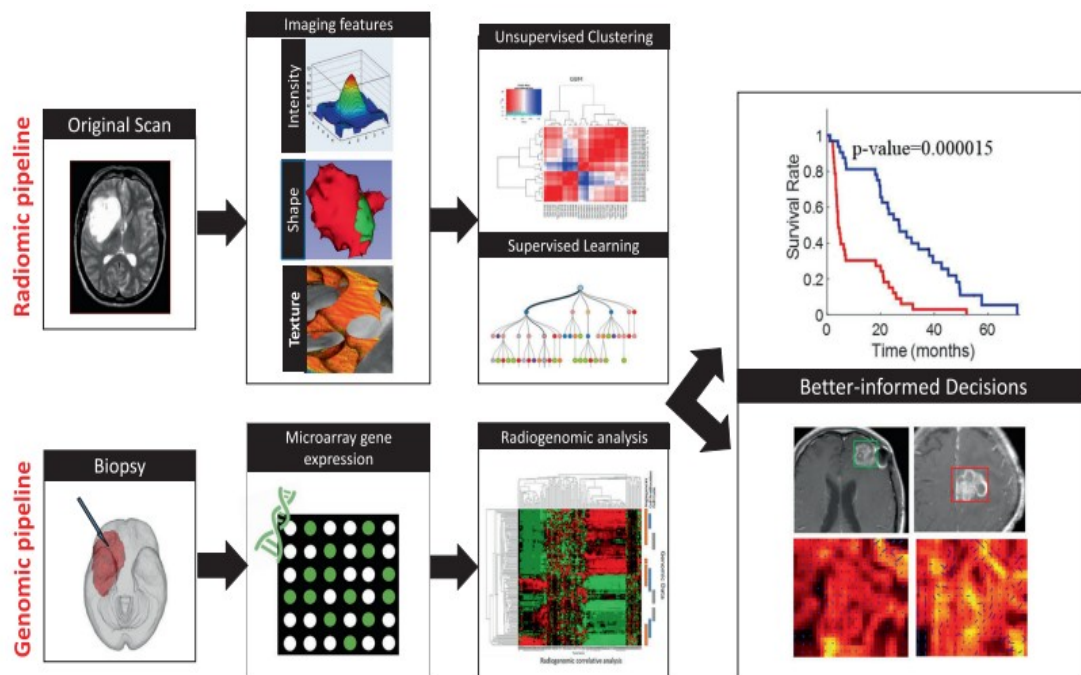
Πηγή: Park et al. (2020)

Η ραδιογονιδιωματική είναι ένα αναδυόμενο ερευνητικό πεδίο που εστιάζει στην καθιέρωση συσχετισμών πολλαπλής κλίμακας μεταξύ ιατρικής απεικόνισης και δεδομένων γονιδιακής έκφρασης. Η αποκρυπτογράφηση της αλληλεπίδρασης ακτινολογικών και γενετικών/μοριακών χαρακτηριστικών είναι υψίστης σημασίας στην ογκολογία και μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συγχώνευσης επιλεγμένων γονιδιωματικών και ραδιομικών χαρακτηριστικών σε έναν ενοποιημένο χώρο χαρακτηριστικών που οδηγεί σε πιο ακριβή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Επιπλέον, η ραδιογονιδιωματική μπορεί να ενισχύσει τη διάγνωση, τη μη επεμβατική πρόβλεψη του μοριακού υποβάθρου, και την πρόβλεψη επιβίωσης στην ογκολογία, συσχετίζοντας γονιδιωματικά δεδομένα με ραδιομικά χαρακτηριστικά που αποκτήθηκαν με μη επεμβατικό τρόπο, ρίχνοντας φως στους υποκείμενους ογκογόνους μηχανισμούς (Trivizakis et al., 2020). Όπως εξηγούν οι Lasocki et al. (2020), η κρίσιμη σημασία των μοριακών δεικτών σε η διάγνωση και η διαχείριση των ενδοκρανιακών γλοιωμάτων έχει οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη της ραδιογονιδιωματικής έρευνας. Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται μία αυξανόμενη αποσύνδεση μεταξύ της έρευνας αιχμής και της αφομοίωσης στην κλινική πράξη, αν και ο θεμελιώδης στόχος αυτών των τεχνικών είναι η βελτίωση της φροντίδας των ασθενών. Για τον λόγο αυτόν, η μελέτη συζητά πιθανά κλινικά σενάρια στα οποία η προσθήκη ραδιογονιδιωματικών μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση του ασθενούς. Σχετικά ζητήματα περιλαμβάνουν τη διευκόλυνση της παροχής συμβουλών ασθενών, τον καθορισμό της βέλτιστης διαχείρισης του ασθενούς όταν δεν είναι δυνατός ο πλήρης μοριακός χαρακτηρισμός, η αναταξινόμηση των όγκων και η υπέρβαση ορισμένων από τους περιορισμούς της ιστολογικής αξιολόγησης.

Παράλληλα, η ραδιομική είναι μια νέα προσέγγιση που χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ κλινικών συμπτωμάτων και υποκείμενων γενετικών χαρακτηριστικών (Song et al., 2020). Η ραδιομική στοχεύει να κάνει έξυπνες προβλέψεις και να αντλεί ιατρικές γνώσεις βασισμένες σε ποσοτικά χαρακτηριστικά που εξάγονται από ιατρικές εικόνες ως μέσα για τη βελτίωση της κλινικής διάγνωσης ή έκβασης. Δυστυχώς, οι φαινότυποι όγκου μπορούν να προσδιοριστούν με τη συλλογή μεγάλων ποσοτήτων χαρακτηριστικών από ιατρική ακτινογραφία εικόνων υψηλής απόδοσης με επαναστατικό χαρακτηρισμό δεδομένων (Lambin et al., 2017). Οι ραδιολογικές μελέτες έχουν αποφέρει ουσιαστικές βιολογικές κατανοήσεις των απεικονιστικών χαρακτηριστικών που συχνά θεωρούνται

δεδομένα στην κλινική ιατρική, συμπεριλαμβανομένου της σκιαγραφικής ενίσχυσης στην μαγνητική τομογραφία γλοιοβλαστώματος, την απόσταση ενός όγκου από την υποκοιλιακή ζώνη και την έκταση της επίδρασης μάζας. Επιπλέον, συμβάλλει στη μη επεμβατική ανίχνευση μεταλλάξεων και επιγενετικών συμβάντων που επηρεάζουν κλινικά αποτελέσματα (Taha et al., 2021).

Σύμφωνα με τους Singh et al. (2021), η Ραδιομική που περιλαμβάνει τη μετατροπή ακτινολογικών εικόνων σε δεδομένα εξόρυξης υψηλών διαστάσεων με τρόπο υψηλής απόδοσης. Αυτή η διαδικασία πολλαπλών βημάτων περιλαμβάνει (α) την απόκτηση και ανακατασκευή εικόνας, (β) την προ-επεξεργασία εικόνας, (γ) τον προσδιορισμό περιοχών ενδιαφέροντος, (δ) την εξαγωγή και ποσοτικοποίηση χαρακτηριστικών, (ε) την επιλογή χαρακτηριστικών, και (στ) την οικοδόμηση πρόβλεψης και προγνωστικών μοντέλων που χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση (Διάγραμμα 1-4).



Διάγραμμα 1-4 Ροή εργασιών της ραδιομικής και της ραδιογονιδιοματικής στην εξατομικευμένη ιατρική

Πηγή: Singh et al. (2021)

Οι Habib et al. (2021) πραγματοποιούν βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιγράφουν τις πρόσφατα δημοσιευμένες μελέτες που συζητούν την πιθανή εφαρμογή της ραδιομικής και της ραδιογονιδιοματικής σε γλοιώματα χαμηλού βαθμού. Επιπλέον, εξερευνούν τη χρήση της τεχνολογίας μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης ως αυτόνομα και βοηθητικά εργαλεία απεικόνισης καθ' οδόν για τη βελτίωση μίας

εξατομικευμένης διάγνωση όγκων με βάση τη μαγνητική τομογραφία και τον σχεδιασμό διαχείρισης. Η μελέτη διαπιστώνει ότι ένα γλοίωμα χαμηλού βαθμού σε σύγκριση με ένα γλοίωμα υψηλού βαθμού προμηνύει μια πιο καλοήγη κλινική πορεία και καλύτερα ποσοστά επιβίωσης. Επίσης, τεκμηριώνει ότι η έγκαιρη διάγνωση και η ολική εκτομή ενός γλοιώματος χαμηλού βαθμού μπορεί να επιτύχει μακροχρόνια ύφεση σε ομάδα ασθενών χαμηλού κινδύνου.

Τόσο η ραδιομική όσο και η ραδιογονιδιωματική έχουν ανοίξει τον δρόμο για την εξέταση ογκολογικών ασθενειών όπως τα γλοιώματα με μία νέα μέθοδο που συνδυάζει απεικονιστικά χαρακτηριστικά με κλινικές και γονιδιωματικά δεδομένα για την ανάπτυξη καλύτερων προγνωστικών μοντέλων για διάφορες ογκολογικές ασθένειες. Ως αποτέλεσμα, ο αριθμός των δημοσιευμένων ερευνητικών άρθρων σχετικά με αυτό το θέμα έχουν αυξηθεί εκθετικά την τελευταία δεκαετία. Ωστόσο, απαιτούνται αυστηρά κριτήρια αξιολόγησης και υποβολής εκθέσεων ώστε να θεσπιστούν κατευθυντήριες γραμμές για τις προσεγγίσεις που βασίζονται στη ραδιογονιδιωματική και θα έχουν αντίκτυπο στην πραγματική κλινική πρακτική (Jain and Chi, 2021).

Οι μεθοδολογίες βαθιάς μάθησης (deep learning) είναι πολύ ελκυστικές για την προώθηση των μελετών ραδιογονιδιωματικής, ιδιαίτερα όταν λαμβάνεται υπόψη ο μεγάλος χώρος αναζήτησης λόγω της αφθονίας των χαρακτηριστικών τόσο σε εικόνες όσο και σε γενετικά/μοριακά δεδομένα. Ουσιαστικά, σε αντίθεση με τις τεχνικές μηχανικής εκμάθησης που βασίζονται σε χαρακτηριστικά, η όλη διαδικασία deep learning είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και μέσω εξαντλητικής ανάλυσης, μπορεί να συμβάλλει στον καθορισμό μη διαισθητικών αντιστοιχιών μεταξύ των χαρακτηριστικών της ιατρικής εικόνας και των γενετικών/μοριακών πληροφοριών. Έτσι, επιτυγχάνεται μια μοντελοποίηση υψηλότερου επιπέδου μέσω της υπολογιστικής ανάλυσης των υψηλής πολυπλοκότητας ακατέργαστων ραδιογονιδιωματικών δεδομένων, επιτρέποντας την εστίαση σε συγκεκριμένες ιδιότητες ασθένειας για την πρόβλεψη του αποτελέσματος αξιοποιώντας τη σύγκλιση μοριακών ή μεταγονιδιακών στόχων (Incoronato et al., 2017).

1.4 Ερευνητικά ερωτήματα

Με βάση την πρώιμη βιβλιογραφική ανασκόπηση τα ερευνητικά ερωτήματα είναι τα ακόλουθα:

1. Πώς μπορεί η ραδιογονιδιωματική να συμβάλλει στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου;
2. Πόσο αξιόπιστη είναι η χρήση ραδιογονιδιωμάτων στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου;
3. Ποιες είναι οι προκλήσεις της χρήσης ραδιογονιδιωμάτων στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου;

1.5 Σημασία της έρευνας

Η Τεχνητή Νοημοσύνη και η Μηχανική Μάθηση υπόσχονται να μεταμορφώσουν όλες τις πτυχές της ιατρικής. Οι αναμενόμενες αλλαγές περιλαμβάνουν αποτελεσματικότερη κλινική διαλογή, ενισχυμένη ακρίβεια των διαγνωστικών ερμηνειών, βελτιωμένες θεραπευτικές παρεμβάσεις, αυξημένους αλγόριθμους ροής εργασιών, βελτιωμένη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, ακριβέστερη πρόγνωση ασθενειών, νεότερες φαρμακοθεραπείες και βελτιωμένη ερμηνεία γονιδιώματος. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει ανησυχία τόσο για την αξιοπιστία των δεδομένων εισόδου όσο και για την ερμηνεία των δεδομένων εξόδου, καθώς και για ζητήματα προστασίας των προσωπικών δεδομένων των ασθενών και ευθύνης λόγω πιθανών παραβιάσεων δεδομένων. Εξίσου ανησυχητική είναι και η μειωμένη ανθρώπινη αλληλεπίδραση στην κλινική φροντίδα, η ικανοποίηση των ασθενών, η οικονομική προσιτότητα και ο σκεπτικισμός σχετικά με το κόστος-όφελος (Bhardwaj, 2022).

1.6 Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της διπλωματικής είναι να εξετάσει τους τρόπους βελτιστοποίησης του χειρουργικού σχεδιασμού εγκεφάλου με χρήση των μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και των ραδιογονιδιωμάτων. Η ερευνητική προσέγγιση είναι βιβλιογραφική και εστιάζει σε προγενέστερες και πρόσφατες σχετικές μελέτες, χωρίς να γίνεται προσπάθεια για παράθεση όλων των ερευνητικών δεδομένων σε μια ευρεία περιοχή.

2. Μεθοδολογία

2.1 Ερευνητικό σχέδιο

Η παρούσα διπλωματική βασίζεται σε συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση με στόχο να απαντήσει στα ερευνητικά ερωτήματα. Σε γενικές γραμμές, η βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι ένας εξαιρετικός τρόπος σύνθεσης ερευνητικών ευρημάτων και αποκάλυψης περιοχών στις οποίες απαιτείται περισσότερη έρευνα. Ωστόσο, οι παραδοσιακοί τρόποι περιγραφής και απεικόνισης της βιβλιογραφίας συχνά στερούνται πληρότητας και δεν αναλαμβάνονται συστηματικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη γνώσης του τι πραγματικά λέει η συλλογή των μελετών ή τι δείχνει. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι συγγραφείς να οικοδομήσουν την έρευνά τους σε εσφαλμένες υποθέσεις καθώς είναι επιλεκτικοί ως προς τα στοιχεία πάνω στα οποία θα βασίσουν την έρευνά τους, αγνοώντας την έρευνα που δείχνει την αντίθετη κατεύθυνση (Snyder, 2019)>

Προς αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων, εφαρμόζεται συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία έχει βασιστεί στα βήματα που έχουν ακολουθήσει προηγούμενες μελέτες (Danilov et al., 2020, Patel et al., 2021, Peralta et al., 2021).

Η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι μια σαφώς καθορισμένη μέθοδος αξιολόγησης προηγούμενων ερευνητικών εργασιών που μπορεί να αντιμετωπίσει συγκεκριμένους ερευνητικούς στόχους. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση για να απαντήσουν σε ερευνητικά ερωτήματα αξιολογώντας την υπάρχουσα βιβλιογραφία και χρησιμοποιώντας αυστηρά προδιαγεγραμμένους κανόνες (Hiebl, 2021). Ως εκ τούτου, το κενό αξιοπιστίας των αφηγηματικών ανασκοπήσεων έχει καλυφθεί τα τελευταία χρόνια με συστηματικές ανασκοπήσεις βιβλιογραφίας, οι οποίες δίνουν έμφαση στον κριτικό και αναστοχαστικό προσανατολισμό. Για το σκοπό αυτό, ο ερευνητής θα πρέπει να εξηγήσει την ακριβή ερευνητική στρατηγική και να επισημάνει πιθανούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, η χρήση κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού είναι κρίσιμης σημασίας κατά την εκτέλεση έρευνας σε βάσεις δεδομένων και την επιλογή

σχετικών μελετών που θα μπορούσαν να ρίξουν φως στο ερευνητικό πρόβλημα. Μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση θα πρέπει να αποσαφηνίσει την ερευνητική προοπτική/άποψη και τις κατηγορίες/υποκατηγορίες βάσει των οποίων πραγματοποιείται (Lame, 2019).

2.2 Σχεδιασμός συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Ο σχεδιασμός συστηματικών βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων συνεπάγεται συγκεκριμένες αρχές για την αποφυγή σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν, είτε από τον αποκλεισμό κατάλληλων μελετών είτε από μη δοκιμασμένη στατιστική ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων των εργασιών που περιλαμβάνονται.

Οι Khan et al. (2003) υποστηρίζουν ότι οι συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις ξεκινούν με τον καθορισμό ενός πρωτοκόλλου ανασκόπησης που καθορίζει τα ερευνητικά ερωτήματα και τις μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν για τη διεξαγωγή της ανασκόπησης. Επιπλέον, μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση απαιτεί ρητά κριτήρια συμπερίληψης ή αποκλεισμού στην αξιολόγηση κάθε πρωτογενούς μελέτης (Πίνακας 2-1)

Πίνακας 2-2 Στάδια συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Σαφής διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων
Καθορισμός κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού
Αξιολόγηση μεθοδολογικής ποιότητας
Σύνοψη των στοιχείων
Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Πηγή: Khan et al. (2003)

2.2.1 Στάδιο 1: Σαφής διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων

Ο ερευνητής θα πρέπει να δηλώσει το ερευνητικό πρόβλημα με τη μορφή σαφών και δομημένων ερωτήσεων πριν ξεκινήσει η ανασκόπηση. Μετά τη διατύπωση των ερευνητικών ερωτημάτων, ο ερευνητής θα πρέπει να είναι σε θέση να τροποποιήσει αυτές τις ερωτήσεις εάν γίνουν εμφανείς εναλλακτικοί τρόποι καθορισμού πληθυσμών, παρεμβάσεων, αποτελεσμάτων ή σχεδίων μελέτης.

2.2.2 Καθορισμός κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συστηματική αναζήτηση δημοσιεύσεων που σχετίζονται με τα ερευνητικά ερωτήματα είναι ο ορισμός των όρων ευρετηρίασης. Η αναζήτηση για μελέτες πρέπει να είναι εκτεταμένη, ενώ τα κριτήρια επιλογής θα πρέπει να συνδέονται με τα ερευνητικά ερωτήματα. Δεδομένου ότι οι αποφάσεις σχετικά με τη συμπερίληψη ή τον αποκλεισμό εγγράφων εμπεριέχουν έναν βαθμό υποκειμενικότητας, η καταλληλότητα ή μη των δημοσιεύσεων πρέπει να κρίνεται από τουλάχιστον δύο ερευνητές. Τυχόν διαφωνίες που μπορεί να προκύψουν μπορούν να επιλυθούν με συζήτηση ή από τρίτο ερευνητή.

2.2.3 Αξιολόγηση ποιότητας μελετών

Η αξιολόγηση της ποιότητας της μελέτης είναι σχετική με κάθε βήμα της ανασκόπησης. Η διατύπωση ερωτήσεων και τα κριτήρια επιλογής μελέτης θα πρέπει να περιγράφουν το ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο σχεδιασμού. Οι λεπτομερείς αξιολογήσεις ποιότητας χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της ετερογένειας και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διατύπωση συστάσεων για μελλοντική έρευνα.

2.2.4 Σύνοψη των στοιχείων

Η σύνθεση δεδομένων συνίσταται στην καταγραφή των χαρακτηριστικών, της ποιότητας και των αποτελεσμάτων της μελέτης και στη χρήση στατιστικών μεθόδων για τη διερεύνηση διαφορών μεταξύ των μελετών και τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων τους (μετα-ανάλυση). Εάν η συνολική μετα-ανάλυση δεν είναι δυνατή, μπορεί να είναι δυνατή η μετα-ανάλυση υποομάδας.

2.2.5 Ερμηνεία ευρημάτων

Κατά την ερμηνεία των ευρημάτων, οι ερευνητές αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο μεροληψίας στη δημοσίευση. Η πιθανή μεροληψία θα πρέπει να αντιμετωπιστεί ενώ η διερεύνηση της ετερογένειας βοηθά στον προσδιορισμό του εάν η περίληψη των μελετών είναι αξιόπιστη. Τα συμπεράσματα εξάγονται με βάση τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν σε μελέτες υψηλής ποιότητας. Οι συστάσεις ταξινομούνται με βάση τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία των ευρημάτων.

2.3 Στόχοι τρέχουσας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της διπλωματικής επιδιώκει να εξετάσει τους τρόπους βελτιστοποίησης του χειρουργικού σχεδιασμού εγκεφάλου με χρήση των μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και των ραδιογονιδιωμάτων. Ειδικότερα, εστιάζει στο πώς η ραδιογονιδιωματική συμβάλλει στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου, πόσο αξιόπιστη είναι η εφαρμογή της ραδιογονιδιωματικής στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου, και ποιες προκλήσεις αντιμετωπίζουν οι κλινικοί ιατροί.

2.4 Στρατηγική αναζήτησης και επιλογής μελετών

Η ακριβής στρατηγική αναζήτησης των μελετών έγινε σε αξιόπιστες βάσεις δεδομένων όπως Google Scholar, EconStor, Elsevier, Emerald, Routledge, και ScienceDirect, μεταξύ άλλων. Οι μελέτες που πληρούν τα κριτήρια ένταξης και περιλαμβάνονται στη συστηματική ανασκόπηση ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά ως προς τη μεθοδολογική τους προσέγγιση.

Συνολικά αναβρέθηκαν 65 άρθρα εκ των οποίων επιλέχθηκαν τα 52 (80,%).

Ο Πίνακας 2-2 παρουσιάζει τους όρους ευρετηρίασης της τρέχουσας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Πίνακας 2-3 Όροι ευρετηρίασης συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης

advanced imaging	glioma
artificial intelligence	machine learning
brain cancer	molecular features
brain surgery	molecular profile
brain tumor	MRI
convolutional neural network	neurosurgery
Deep brain stimulation	radiogenomics
deep learning	radiomics
digital oncology	surgical planning
glioblastoma	survival rate

2.5 Κριτήρια ένταξης

Στη σύνθεση συμπεριλήφθηκαν μελέτες που πληρούσαν τα ακόλουθα κριτήρια:

- Η μελέτη περιλαμβάνει τουλάχιστον έναν από τους όρους ευρετηρίασης που αναφέρονται στον Πίνακα 2-2.
- Έτος έκδοσης: 2008 έως 2022
- Μεθοδολογία έρευνας: Πρωτογενής ή δευτερογενής ποσοτική ή ποιοτική έρευνα
- Γλώσσα: Αγγλικά
- Δημοσίευση: Επιστημονικά περιοδικά
- Έλεγχος από ομότιμους: Ναι

Εφαρμόζοντας αυστηρότερα κριτήρια ένταξης, ο συγγραφέας μπορεί να επιτύχει υψηλότερη ομοιογένεια των μελετών που περιλαμβάνονται στη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αντίθετα, η χρήση ευρύτερων κριτηρίων ένταξης αυξάνει τις συλλεγόμενες πληροφορίες και την ετερογένεια των μελετών, με αποτέλεσμα να διακυβεύονται τα τελικά ευρήματα.

3. Αποτελέσματα

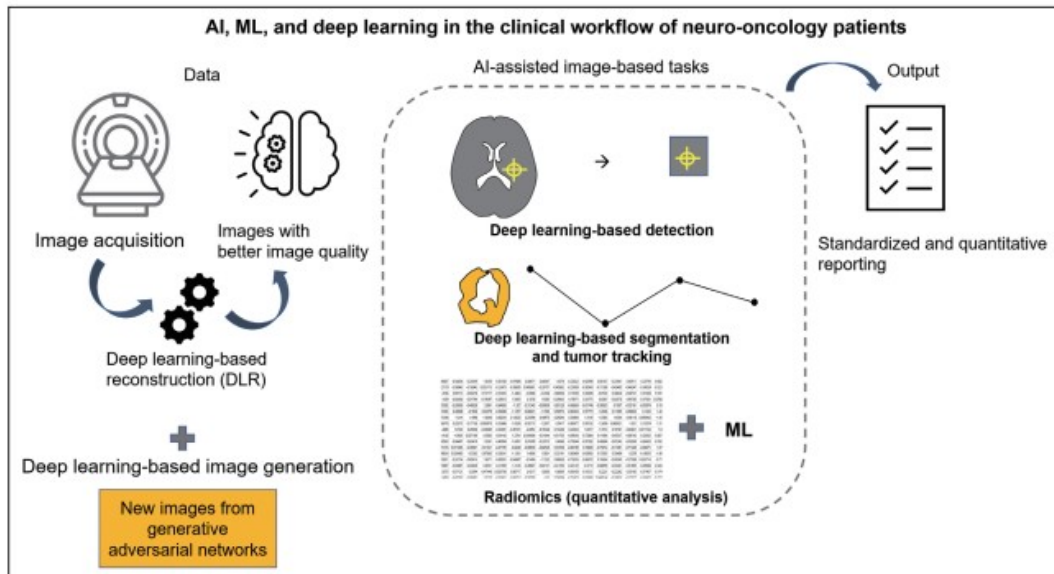
3.1 Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην νευρο-ογκολογία

Οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης - τόσο οι προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης όσο και οι ραδιομικές με μηχανική μάθηση - έχουν αναπτυχθεί για διάφορες εργασίες που βασίζονται στην απεικόνιση στη νευρο-ογκολογία και εστιάζουν στην χρήση της τεχνητής νοημοσύνης για βελτίωση της ποιότητας της εικόνας, ανίχνευση μεταστάσεων, ραδιογονιδιωματική, και παρακολούθηση απόκρισης στη θεραπεία (Larentzakis and Lygeros, 2021). Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια, η ποσότητα, η ποικιλία και η πολυπλοκότητα των δεδομένων νευροαπεικόνισης που αποκτήθηκαν από ασθενείς με όγκους εγκεφάλου για κλινικούς σκοπούς ρουτίνας και ο αριθμός απεικονίσεων έχουν αυξηθεί σημαντικά. Κατά συνέπεια, η έγκαιρη και οικονομικά αποδοτική αξιολόγηση των δεδομένων απεικόνισης είναι δύσκολα εφικτή χωρίς την υποστήριξη μεθόδων από τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Εκτός από την αυτοματοποιημένη και βασισμένη σε υπολογιστή ανάλυση δεδομένων απεικόνισης μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση των δεδομένων συγκρισιμότητας καθώς είναι ανεξάρτητη από το επίπεδο εμπειρίας του κλινικού γιατρού που αξιολογεί. Είναι σημαντικό ότι η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής νέων χαρακτηριστικών από τις συνήθεις αποκτήσεις νευροεικόνες ασθενών με όγκο στον εγκέφαλο. Σε συνδυασμό με δεδομένα ασθενών όπως η επιβίωση, μοριακοί δείκτες ή γονιδιωματικά, μπορούν να δημιουργηθούν μαθηματικά μοντέλα που επιτρέπουν την πρόβλεψη της ανταπόκρισης ή της πρόγνωσης της θεραπείας, καθώς και της μη επεμβατικής αξιολόγηση μοριακών δεικτών (Lohmann et al., 2021).

Παρά το γεγονός ότι η ακτινοθεραπεία παίζει σημαντικό ρόλο στην κλινική θεραπεία του γλοιώματος, ενδέχεται να προκαλέσει κάποια βλάβη στους φυσιολογικούς ιστούς. Ως εκ τούτου, η χειρουργική θεραπεία είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη και αποτελεσματική θεραπεία του γλοιώματος. Ειδικότερα, τα γλοιώματα με χαμηλό βαθμό επιδείνωσης θεραπεύονται κυρίως με χειρουργική επέμβαση, ενώ τα γλοιώματα με υψηλό βαθμό επιδείνωσης μπορούν να παρατείνουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής των ασθενών με χειρουργική θεραπεία. Η εκτομή μπορεί να

ελαχιστοποιήσει το μέγεθος του όγκου, να μειώσει τον αριθμό των καρκινικών κυττάρων και την ενδοκρανιακή υπέρταση και να παρατείνει τη ζωή των ασθενών. Στο πλαίσιο αυτό, η μαγνητική τομογραφία (MRI) συμβάλλει σημαντικά νευροχειρουργική θεραπεία και διάγνωση καθώς παρέχει υψηλή ανάλυση στον μαλακό ιστό του σώματος και διευκολύνει τη διάγνωση του γλοιώματος και τη μετεγχειρητική ανασκόπηση (Wei et al., 2022). Στο πλαίσιο αυτό, ο Park (2022) υπογραμμίζει ότι υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης που εφαρμόζονται σε συμβατικά και προηγμένα δεδομένα νευροογκολογικής μαγνητικής τομογραφίας μπορούν ήδη να οριοθετήσουν διεισδυτικά όρια διάχυτων γλοιωμάτων, να διαφοροποιήσουν την ψευδοπρόοδο από την πραγματική εξέλιξη και να προβλέψουν την υποτροπή και την επιβίωση καλύτερα από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή κλινική πράξη. Η ραδιογονιδιωματική προωθήσει επίσης την κατανόηση για τη βιολογία του καρκίνου, επιτρέποντας τη μη επεμβατική δειγματοληψία του μοριακού περιβάλλοντος με υψηλή χωρική ανάλυση σε επίπεδο συστήματος των υποκείμενων ετερογενών κυτταρικών και μοριακών διεργασιών. Στην ουσία, τα ραδιογονιδιωματικά εργαλεία που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να στρωματοποιήσουν τους ασθενείς σε πιο ακριβείς αρχικές διαγνωστικές και θεραπευτικές πληροφορίες και να επιτρέψουν καλύτερη δυναμική παρακολούθηση της θεραπείας.

Το Διάγραμμα 3-1 απεικονίζει την τεχνητή νοημοσύνη (AI), τη μηχανική μάθηση (ML) και τη βαθιά μάθηση στην κλινική ροή εργασίας των νευροογκολογικών ασθενών. Μετά την απόκτηση εικόνας, μπορεί να εφαρμοστεί ανακατασκευή βασισμένη σε βαθιά μάθηση για τη μείωση του θορύβου και τη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας. Στη συνέχεια, εκτελούνται εργασίες που βασίζονται σε εικόνα με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίες περιλαμβάνουν ανίχνευση και τμηματοποίηση με βάση τη βαθιά μάθηση. Μετά την κατάτμηση, μπορεί να εφαρμοστεί η ποσοτική ανάλυση των ραδιομικών και περαιτέρω αναλύσεις με βάση τη μηχανική μάθηση. Οι εργασίες που βασίζονται σε εικόνες με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης συμβάλλουν στην παροχή ποσοτικών και τυποποιημένων αναφορών. Επίσης, είναι σημαντικό ότι η δημιουργία εικόνων που βασίζεται σε βαθιά μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί κατά τη διάρκεια του σταδίου εισαγωγής δεδομένων και μπορεί να βελτιώσει την απόδοση πρόβλεψης κατά τη διάρκεια κάθε διαδικασίας τεχνητής νοημοσύνης στη νευρο-ογκολογική απεικόνιση.



Διάγραμμα 3-5 Τεχνητή νοημοσύνη (AI), μηχανική μάθηση (ML) και βαθιά μάθηση στην κλινική ροή εργασίας των νευροογκολογικών ασθενών

Πηγή: Park (2022)

Η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στις νευροεπιστήμες προϋποθέτει καλύτερη κατανόηση της ευφυούς λειτουργίας του βιολογικού εγκεφάλου με στόχο να μιμηθεί τις ανθρώπινες γνωστικές λειτουργίες και να αυξήσει τη λήψη αποφάσεων από τους κλινικούς ιατρούς αποκαλύπτοντας κλινικά σχετικές πληροφορίες που κρύβονται σε έναν τεράστιο όγκο δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων σε πραγματικό χρόνο (Ganapathy et al., 2018).

Οι Yi et al. (2021) υπογραμμίζουν ότι, σε σύγκριση με την παραδοσιακή απεικόνιση του εγκεφάλου, η ραδιογονιδιωματική παρέχει ποσοτικές πληροφορίες που συνδέονται με σημαντικά βιολογικά χαρακτηριστικά και η εφαρμογή του εφαρμογών deep learning φωτίζει την πλήρη αυτοματοποίηση της απεικονιστικής διάγνωσης. Ο αυξανόμενος όγκος δεδομένων απεικόνισης εγκεφάλου, η αυξανόμενη υπολογιστική ισχύς και η πρόοδος στους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης είναι σημαντικοί παράγοντες που μπορούν να αξιοποιήσουν μεγαλύτερες ποσότητες κλινικών δεδομένων. Ωστόσο απαιτούν επίσης περισσότερα δεδομένα εκπαίδευσης, μεγαλύτερο χρόνο εκπαίδευσης και πολλούς επιπλέον υπολογιστικούς πόρους για την προγνωστική ισχύ (Jin et al., 2020).

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή της ραδιογονιδιωματικής είναι ευρεία στην αναγνώριση πρωτοπαθούς όγκου, διαφορική διάγνωση, βαθμολόγηση,

αξιολόγηση κατάστασης μετάλλαξης και επιθετικότητας, πρόβλεψης ανταπόκρισης στη θεραπεία και υποτροπής σε όγκους της υπόφυσης, γλοιώματα και εγκεφαλικές μεταστάσεις. Για παράδειγμα, οι Buchlak et al. (2021) υπογραμμίζουν ότι η μηχανική μάθηση έχει εφαρμοστεί ευρέως στην επεξεργασία δεδομένων μαγνητικής τομογραφίας στην έρευνα για το γλοίωμα και έχει αποδείξει σημαντική χρησιμότητα. Η μηχανική μάθηση έχει αρχίσει να βρίσκει εφαρμογές που στοχεύουν στη βελτίωση της νευροχειρουργικής φροντίδας, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της περιεγχειρητικής λήψης αποφάσεων. Μια ενδεδειγμένη επικύρωση συγκεκριμένων μοντέλων ML είναι απαραίτητη πριν από την εφαρμογή τους στην κλινική νευροχειρουργική φροντίδα. Για να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ έρευνα και κλινική φροντίδα, πρακτικά και ηθικά ζητήματα θεωρούνται παράλληλα με την ανάπτυξη αυτών των τεχνικών (Senders et al., 2018a). Εμπειρική μελέτη (Buda et al., 2019) συνδυάζει το πεδίο της βαθιάς μάθησης και της ραδιογονιδιοματικής και προτείνει έναν πλήρως αυτόματο αλγόριθμο για την ποσοτικοποίηση του σχήματος του όγκου με στόχο να ελεγχθεί εάν τα αξιολογούμενα χαρακτηριστικά σχήματος είναι προγνωστικά για μοριακούς υποτύπους όγκου. Η ανάπτυξη απεικονιστικών βιοδεικτών που ενημερώνουν για τη γονιδιοματική του όγκου, παρέχει τις σχετικές πληροφορίες στους κλινικούς ιατρούς εγκαίρως και με μη επεμβατικό τρόπο και σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει την καλύτερη διαστρωμάτωση των όγκων όπου δεν εκτελείται εκτομή.

3.2 Χειρουργικός σχεδιασμός εγκεφάλου με ραδιογονιδιώματα

3.2.1 Γλοιοβλάστωμα

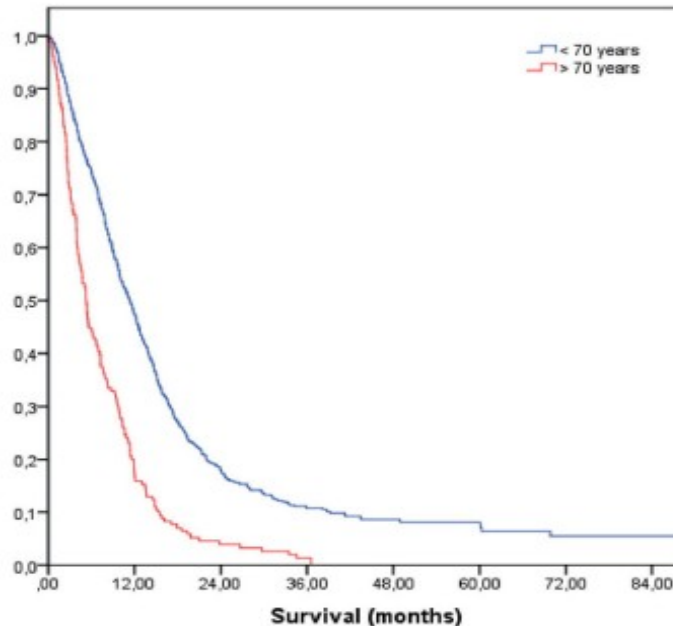
Το γλοιοβλάστωμα ταξινομείται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας σε χαμηλού βαθμού (I και II) και υψηλού βαθμού (III και IV). Το πολύμορφο γλοιοβλάστωμα είναι όγκος βαθμού IV και είναι ο πιο κοινός πρωτοπαθής όγκος του εγκεφάλου. Η διάκριση του γλοιοβλαστώματος από τις μη νεοπλασματικές βλάβες είναι υψίστης σημασίας στην κλινική πράξη, καθώς κάθε οντότητα έχει διαφορετική στρατηγική θεραπείας και πρόγνωσης. Ο προσδιορισμός του βαθμού γλοιοβλαστώματος πριν από τη θεραπεία είναι κρίσιμος για τη βελτιστοποίηση της στρατηγικής θεραπείας, την πρόβλεψη της θεραπευτικής ανταπόκρισης, την πρόγνωση και την επιβίωση (Abdel Razek et al., 2021).

Τα γλοιοβλαστώματα θεωρούνται οι πιο συχνοί κακοήθεις όγκοι εγκεφάλου με μεγάλη μορφολογική και γενετική ετερογένεια και αποτελούν το 12% έως 15% του συνόλου των ενδοκρανιακών όγκων. Τα γλοιοβλαστώματα είναι πιο συχνά σε ηλικιωμένους ενώ τα δευτερογενή γλοιοβλαστώματα αφορούν κυρίως νεότερα άτομα. Με βάση το προφίλ γονιδιακής έκφρασης, οι ερευνητές έχουν ταξινομήσει τα γλοιοβλαστώματα σε διάφορους υποτύπους (Soomro et al., 2017). Σύμφωνα με τους Le et al. (2021), το γλοιοβλάστωμα αντιπροσωπεύει το 52% όλων των πρωτοπαθών όγκων του εγκεφάλου. Παρόλο που εμφανίζεται σχετικά σπάνια, η κακή πρόγνωση (επιθετικό και διηθητικό πρότυπο ανάπτυξης) καθιστά αδύνατη τη θεραπευτική θεραπεία. Παρά τις πολλές προσπάθειες παγκοσμίως, η θεραπεία του γλοιοβλαστώματος εξακολουθεί να θεωρείται η πιο δύσκολη περίπτωση στην κλινική ογκολογία, ενώ η ιστοπαθολογική ανάλυση του ιστού του όγκου είναι το πρότυπο αναφοράς για την οριστική διάγνωση του γλοιοβλαστώματος. Πρόσφατα, ο γονιδιωματικός χαρακτηρισμός του όγκου (ιστός διαθέσιμος από τη χειρουργική εκτομή) έχει προχωρήσει στην κλινική αξιολόγηση του γλοιοβλαστώματος για να παρέχει πρόσθετους προγνωστικούς παράγοντες της ανταπόκρισης και αποτέλεσμα της θεραπείας.

Γενικότερα, η κακή συνολική πρόγνωση των όγκων βασίζεται σε ανεξάρτητους παράγοντες κινδύνου όπως ιστολογικός βαθμός και κλινικά μοντέλα που περιλαμβάνουν ηλικία άνω των 60 ετών, αρσενικό φύλο, λειτουργική κατάσταση του ασθενούς, μερική εκτομή του προχωρημένου όγκου και χειρουργική επέμβαση χωρίς χημειο-ακτινοθεραπεία. Επιπλέον, οι μοριακοί δείκτες είναι σημαντικοί για τη διάγνωση και την πρόγνωση των όγκων του εγκεφάλου (Rudie et al., 2019). Προηγούμενες μελέτες (Gutman et al., 2013, Zinn et al., 2012) είχαν εφαρμόσει διαφορετικές μεθόδους απεικόνισης ανάλογα με τη μέτρηση των μέγιστων διαστάσεων, τον όγκο των ενισχυτικών βλαβών και τη διήθηση της λευκής ουσίας και έδειξαν υψηλότερη προγνωστικότητα από τα κλινικά μοντέλα.

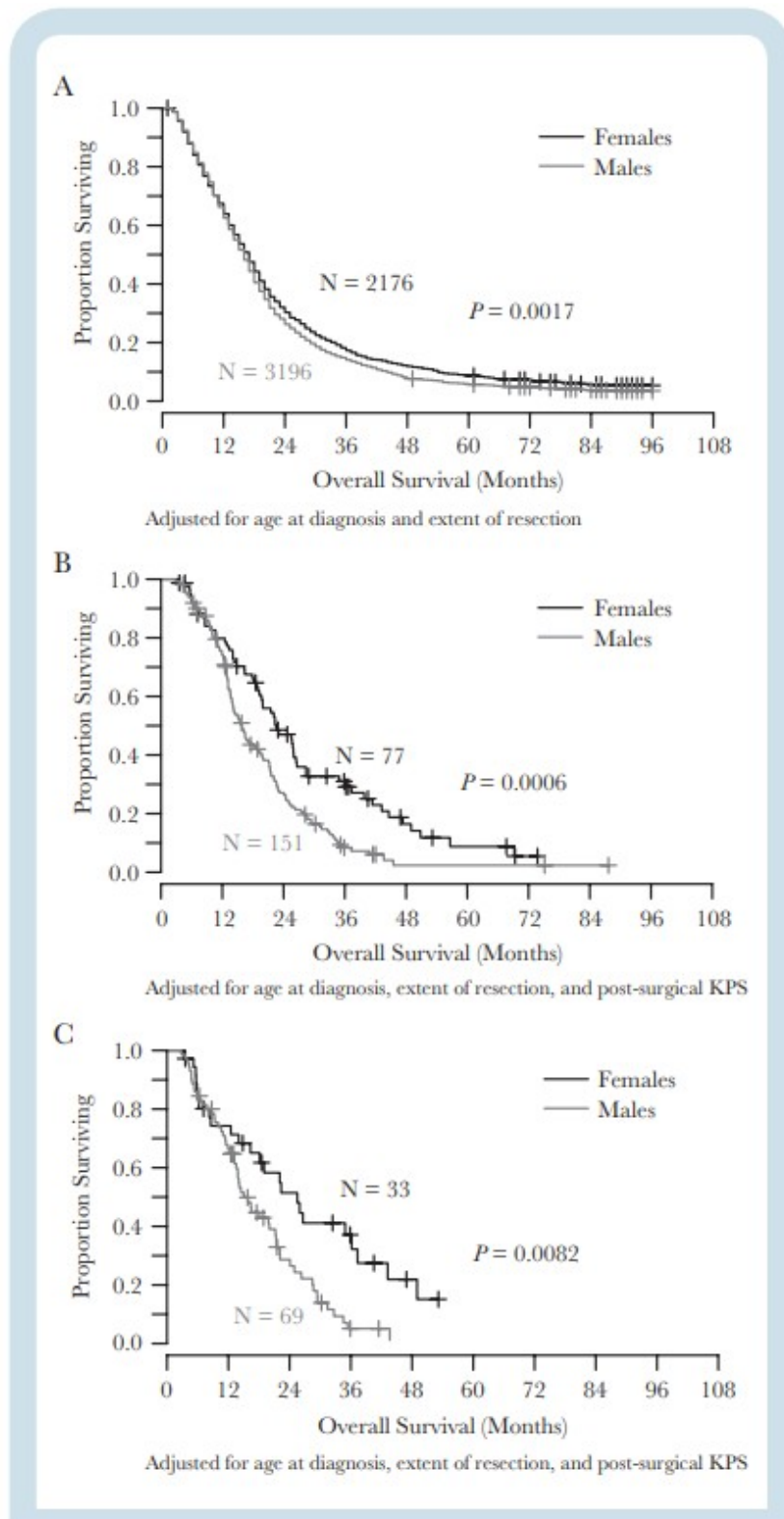
Οι Hong et al. (2018) αξιολογούν τη συσχέτιση μεταξύ των χαρακτηριστικών απεικόνισης μαγνητικής τομογραφίας και των κύριων γονιδιωματικών προφίλ στο γλοιοβλάστωμα. Συγκρίνοντας διαφορετικές ομάδες γενετικού προφίλ και εφαρμόζοντας αναλύσεις παλινδρόμησης για τον εντοπισμό απεικονιστικών-μοριακών συσχετισμών, οι ερευνητές επιβεβαιώνουν ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση των κύριων γενετικών προφίλ του γλοιοβλαστώματος με την απεικόνιση

MR, μαζί με ορισμένα γενετικά προφίλ, τα οποία είναι ανεξάρτητες προγνωστικές παράμετροι για το γλοιοβλάστωμα. Άλλες μελέτες (Ostrom et al., 2018, Smrdel et al., 2018) αναφέρουν ότι σε ατομικό επίπεδο ασθενούς, η προεγχειρητική βαθμολογία Karnofsky Performance Score (KPS) παίζει σημαντικό ρόλο, μαζί με την ηλικία (Διάγραμμα 3-2) και το φύλο (Διάγραμμα 3-3). Ομοίως, οι Sun et al. (2021) διερευνούν τη βιολογική σημασία των μεμονωμένων προγνωστικών ραδιενεργών φαινοτύπων σε γλοιοβλαστώματα χρησιμοποιώντας δεδομένα μαγνητικής τομογραφίας και δεδομένα αλληλουχίας RNA και επικύρωση της αναπαραγωγιμότητας των ταυτοποιημένων ραδιογονιδιωματικών συνδέσεων εξωτερικά. Εντάχθηκαν συνολικά 435 ασθενείς (μέση ηλικία, 55 έτη, 263 άνδρες). Τέσσερις τύποι προγνωστικών ραδιενεργών φαινοτύπων συσχετίστηκαν με διακριτές οδούς με false-discovery rate 0,10. Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν ότι οι μεμονωμένοι ραδιομικοί φαινότυποι σε σαρώσεις μαγνητικής τομογραφίας που προβλέπουν τη συνολική επιβίωση καθοδηγούνται από ξεχωριστές βασικές οδούς που εμπλέκονται σε ανοσορύθμιση, πολλαπλασιασμό όγκου, αποκρίσεις θεραπείας και κυτταρικές λειτουργίες στο γλοιοβλάστωμα, και θα μπορούσαν να αναπαραχθούν εξωτερικά.



Διάγραμμα 3-6 Διαφορές ποσοστού επιβίωσης με βάση την ηλικία

Πηγή: Smrdel et al. (2018)



Διάγραμμα 3-7 Διαφορές ποσοστού επιβίωσης με βάση το φύλο

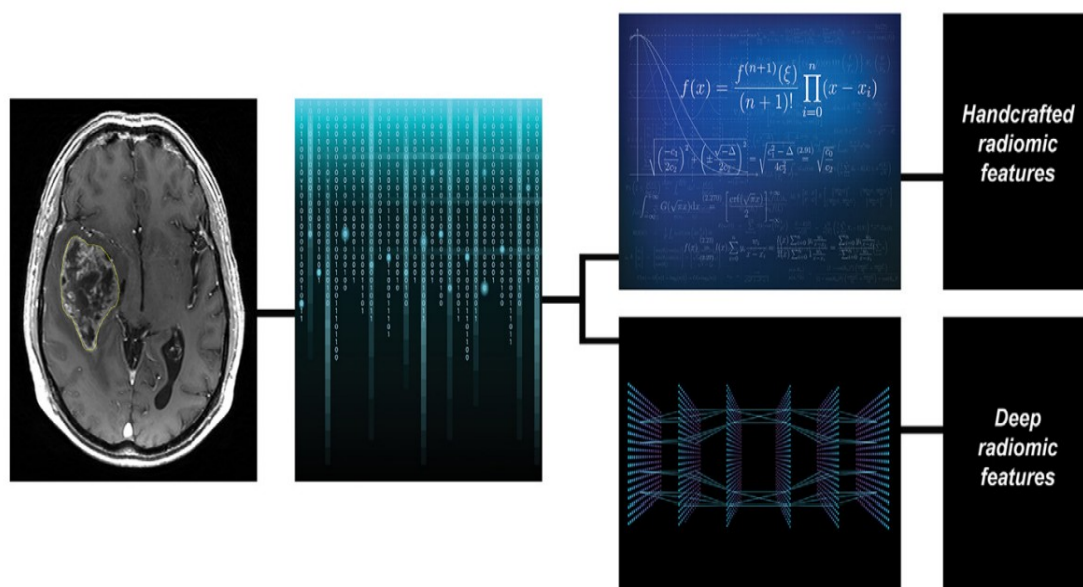
Πηγή: *Ostrom et al. (2018)*

3.2.2 Μοριακές ταξινομήσεις και δείκτες

Η προηγμένη νευροαπεικόνιση αποκτά αυξανόμενη σημασία για τον χαρακτηρισμό και το μοριακό προφίλ του ιστού του όγκου του εγκεφάλου. Από τη μία πλευρά, για ορισμένους τύπους όγκων, πιο διαδεδομένες προηγμένες τεχνικές διερευνούν τα χαρακτηριστικά διάχυσης παρέχουν κλινικά αποδεδειγμένα αποτελέσματα και αξιόπιστα για τη διαστρωμάτωση διάγνωσης και πρόγνωσης. Πιο σύγχρονες τεχνικές όπως η φασματοσκοπία 2-υδροξυγλουταρικού (2HG) προσφέρουν τη δυνατότητα άμεσης μέτρησης ενός κρίσιμου μοριακού δείκτη. Εντούτοις, ενώ έχουν διερευνηθεί πολλές καινοτόμες προσεγγίσεις για μια εκλεπτυσμένη αξιολόγηση των μικροδομικών και μικροαγγειακών ιδιοτήτων των όγκων με τεράστιες πιθανές εφαρμογές αυτών των τεχνικών, η διερεύνησή τους δεν είναι ακόμα πλήρης (Sanvito et al., 2021). Όπως εξηγούν οι Qian et al. (2018), οι εξελίξεις σε γονιδιωματικές και βιοπληροφορικές τεχνικές επιτρέπουν τη δημιουργία μοριακών ταξινομήσεων και υπογραφών που βασίζονται σε προφίλ έκφρασης και παρέχουν ελπιδοφόρες προσεγγίσεις για τον εντοπισμό προγνωστικών ή θεραπευτικών βιοδεικτών για διαχείριση προσαρμοσμένη στον ασθενή. Παρόλο που τέτοια γενετικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι ενημερωτικά και είναι σχετικά ομοιογενή σε καθένα από αυτά όγκου, παραμένει μια ανικανοποίητη κλινική ανάγκη για λιγότερα δαπανηρά και λιγότερο χρονοβόρα μη επεμβατικά υποκατάστατα που θα μπορούν να προσδιορίσουν μία κλινικά προγνωστική και καθοδηγητική ατομική θεραπεία.

Ενώ η δομική μαγνητική τομογραφία είναι εξαιρετική για την παροχή του σχηματισμού της ανατομίας του κεντρικού νευρικού συστήματος και των μηνιγγιώνων, προηγμένες τεχνικές νευροαπεικόνισης προσφέρουν τη δυνατότητα παροχής πρόσθετων πληροφοριών σχετικά με τη βιολογία του όγκου τόσο σε λειτουργικό όσο και σε μοριακό επίπεδο (Galldiks et al., 2022). Ουσιαστικά, το ενδιαφέρον για την ανακάλυψη και την ανάπτυξη καλύτερων βιοδεικτών όγκου τροφοδοτείται εν μέρει από την αναγνώριση της αυξημένης πολυπλοκότητας αυτών των όγκων, όπως είναι εμφανές στην ενσωμάτωση των μοριακών και ιστολογικών χαρακτηριστικών. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3-4, κατά τη διαδικασία εξαγωγής της υφής ή της ραδιομικής ανάλυσης, τα χαρακτηριστικά ποσοτικής απεικόνισης εξάγονται με τη δυνατότητα να χρησιμεύσουν ως ποσοτικοί βιοδείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη ενός κλινικού ή μοριακού τελικού σημείου ενδιαφέροντος. Σε γενικές γραμμές, ως παραδοσιακά ραδιομικά χαρακτηριστικά

μπορούν να οριστούν εκείνα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας σαφώς καθορισμένους ή σαφείς μαθηματικούς τύπους σχεδιασμένους από ειδικούς, συχνά ανεξάρτητα και πριν από το πείραμα, που με τη σειρά τους αναφέρονται ως χειροποίητα χαρακτηριστικά. Σε αντίθεση, τα χαρακτηριστικά που εξάγονται με βάση την ανάλυση εικόνας με προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης, όπως π.χ. τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, δεν μπορούν να οριστούν με σαφήνεια ή δεν προκύπτουν χρησιμοποιώντας ρητούς μαθηματικούς τύπους σχεδιασμένους από ειδικούς. Αντίθετα, μαθαίνονται από δεδομένα μέσω ενός αλγόριθμου εκμάθησης. Αυτά μπορεί να αναφέρονται ως βαθιά (εξαγόμενα) χαρακτηριστικά και η διαδικασία ως «βαθιά ραδιομική».



Διάγραμμα 3-8 Εξαγωγή υφής ή ραδιομικών χαρακτηριστικών

Πηγή: Forghani (2020)

Οι Ludwig and Kornblum (2017) υπογραμμίζουν τη σημαντική πρόοδο που έχει γίνει στην οριοθέτηση της μοριακής ετερογένειας τόσο μεταξύ όγκων από διαφορετικούς ασθενείς όσο και εντός όγκων από τον ίδιο ασθενή. Εφαρμόζοντας συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι ερευνητές συνοψίζουν μερικούς από τους πιο γνωστούς μοριακούς δείκτες (MGMT, 1p/19q, IDH, EGFR, p53, PI3K, Rb και RAF), συζητούν πώς αναγνωρίζονται και ποια είναι η κλινική τους συνάφεια. Ωστόσο, ενώ πολύ έχει γίνει έρευνα για αυτούς τους δείκτες, υπάρχει ένα σημαντικό μέρος που δεν έχει γίνει ακόμα πλήρως κατανοητό και ενδεχομένως να εξηγεί ορισμένες αντικρουόμενες αναφορές στη βιβλιογραφία. Ομοίως, οι Soomro et al. (2017)

διαπιστώνουν ότι σε μοριακό επίπεδο, στα πρωτοπαθή γλοιοβλαστώματα, η απώλεια ετεροζυγωτίας (LOH) στο 10q είναι η πιο συχνή γενετική αλλοίωση που παρατηρείται στο 70% των ασθενών, ακολουθούμενη από την ενίσχυση του EGFR (35%), μεταλλάξεις πρωτεΐνης όγκου 53 (TP53) (30%), και μετάλλαξη ομολόγου φωσφατάσης και τενσίνης (PTEN) (25%). Στα δευτεροπαθή γλοιοβλαστώματα, οι μεταλλάξεις LOH 10q και TP53 είναι οι πιο συχνές καθώς υπάρχουν στο 63% και 65% των ασθενών, αντίστοιχα, ενώ της γενετικές αλλοιώσεις είναι σπάνιες. Ωστόσο, οι μεταλλάξεις της ισοκιτρικής αφυδρογονάσης (IDH-1) ανέρχονται σε ποσοστό 80% και η μεθυλίωση προαγωγέα MGMT σε ποσοστό 79% (Πίνακας 3-1).

Πίνακας 3-4 Συχνές μεταλλάξεις στα γλοιοβλαστώματα

Γενετικές αλλοιώσεις	Πρωτοπαθές γλοιοβλάστωμα (%)	Δευτεροπαθές γλοιοβλάστωμα (%)
Απώλεια ετεροζυγωτίας (LOH)	70	63
Υποδοχέας του επιδερμικού αυξητικού παράγοντα (EGFR)	35	8
Μεταλλάξεις πρωτεΐνης όγκου 53 (TP53)	30	65
Μεταλλάξεις ομολόγου φωσφατάσης και τενσίνης (PTEN)	25	4
Μεταλλάξεις της ισοκιτρικής αφυδρογονάσης (IDH-1)	5	80
Μεθυλίωση προαγωγέα MGMT	42	79

Πηγή: *Soomro et al. (2017)*

Οι όγκοι που ταξινομούνται ως γλοιώματα περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία ιστολογιών. Πρόσφατες προσπάθειες για ολοκληρωμένο γενετικό χαρακτηρισμό διαφόρων πρωτογενών όγκων εγκεφάλων έχουν εντοπίσει έναν αριθμό κοινών αλλοιώσεων και κοινών οδών σε πολλαπλούς τύπους όγκων. Εκτός από τους κοινούς τύπους μεταλλάξεων, έχει εντοπιστεί ένας αριθμός ειδικών αλλαγών στους τύπους όγκων, όπως οι μεταλλάξεις ή συντήξεις στο γονίδιο BRAF που παρατηρούνται σε πιλοκυτταρικά αστροκυτώματα και γαγγλιογλοιώματα. Επιπλέον, τα γλοιώματα χαμηλού βαθμού διακρίνονται όλο και περισσότερο σε δύο ομάδες με βάση την κατάσταση μετάλλαξης της ισοκιτρικής αφυδρογονάσης IDH. Τέλος, οι προγνωστικοί δείκτες στα διάχυτα γλοιώματα περιλαμβάνουν μετάλλαξη IDH, κωδικοποίηση 1p/19q και μεθυλίωση MGMT (Cohen and Colman, 2015).

Εμπειρική μελέτη (Calabrese et al., 2022) χρησιμοποιεί προεγχειρητικά δεδομένα μαγνητικής τομογραφίας από 400 ασθενείς με γλοιοβλάστωμα προκειμένου να αξιολογήσει μία νέα μέθοδο τεχνητής νοημοσύνης για την πρόβλεψη κλινικά σχετικών γενετικών βιοδεικτών. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι ο συνδυασμός ραδιομικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών του συνελκτικού νευρωνικού δικτύου (convolutional neural network, CNN) από μία προεγχειρητική μαγνητική τομογραφία μπορεί να βελτιώσει τη μη επεμβατική γενετική απόδοση πρόβλεψης βιοδεικτών σε ασθενείς με διάχυτα γλοιώματα 4ου βαθμού.

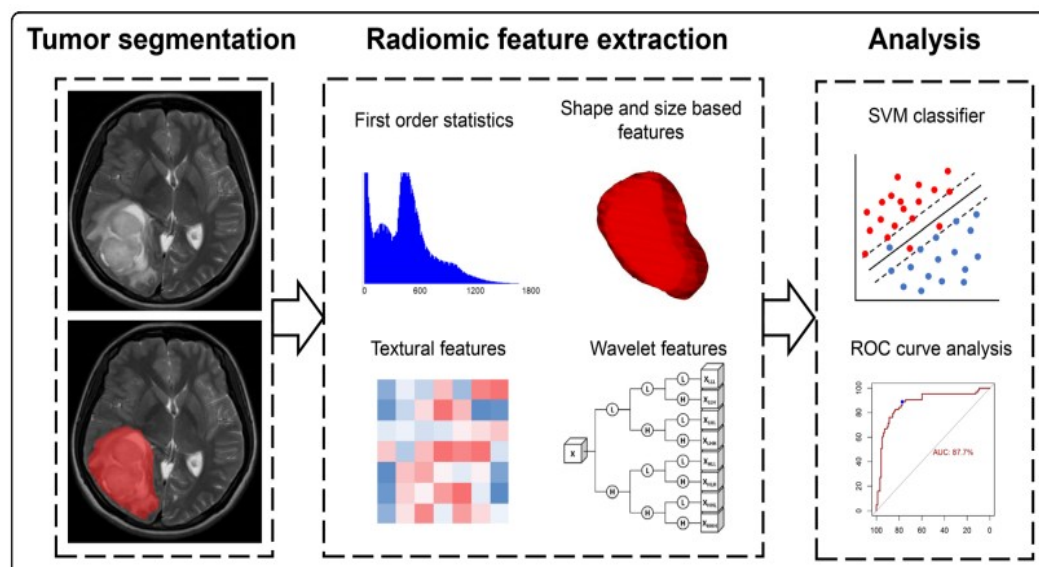
3.2.3 Χειρουργικός σχεδιασμός

Από χειρουργική άποψη, η θέση του όγκου και η προσβασιμότητα είναι απαραίτητες για την μέγιστη ασφαλή εκτομή. Κλινικές μελέτες (Brown et al., 2016, Pichlmeier et al., 2008) έχουν δείξει ότι η έκταση της μέγιστης ασφαλούς εκτομής στη θεραπεία του γλοιοβλαστώματος συσχετίζεται με την επιβίωση χωρίς εξέλιξη (progression-free survival, PFS) και τη συνολική επιβίωση (overall survival, OS).

Όπως εξηγούν οι Hu et al. (2017), το γλοιοβλάστωμα παρουσιάζει βαθιά ενδοκαρκινική γενετική ετερογένεια. Κάθε όγκος περιλαμβάνει πολλαπλούς γενετικά διακριτούς κλωνικούς πληθυσμούς με διαφορετικές θεραπευτικές ευαισθησίες, γεγονός που απαιτεί στοχευμένη θεραπεία και γενετικά ενημερωμένα παραδείγματα. Στο πλαίσιο αυτό, διερευνούν τη σκοπιμότητα χρήσης πολυπαραμετρικής μαγνητικής τομογραφίας και ανάλυσης υφής για τον χαρακτηρισμό της περιφερειακής γενετικής ετερογένειας σε όλα τα τμήματα του όγκου. Συλλέγοντας 48 βιοψίες (13 όγκους) και εντοπίζοντας σημαντικές απεικονιστικές συσχετίσεις (μονομεταβλητή ανάλυση) για 6 γονίδια, οι ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η μαγνητική τομογραφία και η ανάλυση υφής μπορούν να βοηθήσουν στον χαρακτηρισμό της περιφερειακής γενετικής ετερογένειας, η οποία προσφέρει πιθανή διαγνωστική αξία υπό το παράδειγμα της εξατομικευμένης ογκολογίας.

Επιπλέον, η τρισδιάστατη ογκομετρική μέτρηση του βιώσιμου/ενισχυτικού καρκινικού συστατικού και του περιφερικού οιδήματος απαιτούν χειρουργικό σχεδιασμό και μετεγχειρητική παρακολούθηση. Χρησιμοποιώντας την τεχνητή νοημοσύνη και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, οι γιατροί μπορούν να προβούν πολύ πιο γρήγορα στην κατάτμηση του όγκου (Sotoudeh et al., 2019).

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο ραδιομικής (Sun et al., 2019), μετά τη λήψη εικόνων μαγνητικού συντονισμού, η κατάκτηση του όγκου διεξάγεται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα εικόνας. Στη συνέχεια εξάγονται ραδιολογικά χαρακτηριστικά υψηλής απόδοσης από τους κατακερματισμένους όγκους και πραγματοποιείται περαιτέρω ραδιομική ανάλυση χρησιμοποιώντας τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά (Διάγραμμα 3-4).



Διάγραμμα 3-9 Πρωτόκολλο ραδιομικής

Πηγή: Sun et al. (2019)

Οι Huang et al. (2020) αναφέρουν ότι, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους μηχανικής μάθησης, οι τεχνολογίες βαθιάς μάθησης είναι πιο αποτελεσματικές επειδή μπορούν να εξάγουν αυτόματα χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η γενίκευση των τεχνολογιών βαθιάς μάθησης είναι σαφώς περισσότερη από τις μεθόδους μηχανικής μάθησης. Για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης της διαδικασίας διάγνωσης όγκων εγκεφάλου, έχουν προταθεί πολυάριθμα αυτόματα συστήματα που βασίζονται σε τεχνολογίες βαθιάς μάθησης για αποτελεσματική ανίχνευση όγκων εγκεφάλου. Για παράδειγμα, οι Talo et al. (2019) προτείνουν ένα αυτόματο σύστημα για την ανίχνευση ανωμαλιών του εγκεφάλου εφαρμόζοντας τεχνικές αύξησης δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της αναστροφής και της περιστροφής, για τη μεγέθυνση του συνόλου δεδομένων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούν ένα ResNet-34 για την εκπαίδευση του ταξινομητή. Το ποσοστό αναγνώρισης αυτού του μοντέλου έφτασε το 100% σε 613 εικόνες μαγνητικής τομογραφίας εγκεφάλου. Οι Noreen et al. (2020) εφαρμόζουν δύο μοντέλα βαθιάς εκμάθησης (Inception-v3 και DensNet201) και

αξιολογούν δύο διαφορετικά σενάρια ανίχνευσης όγκου εγκεφάλου και ταξινόμησής του. Η προτεινόμενη μέθοδος παρήγαγε 99,34% και 99,51% ακρίβεια δοκιμών για το Inception-v3 και το DensNet201, αντίστοιχα, σε δείγματα δοκιμής και πέτυχε την υψηλότερη απόδοση στην ανίχνευση του όγκου του εγκεφάλου.

Η πρόβλεψη επιβίωσης ασθενών που έχουν προσβληθεί από όγκους εγκεφάλου παρέχει βασικές πληροφορίες για τον χειρουργικό σχεδιασμό, την επιλογή της επικουρικής θεραπείας και την παροχή συμβουλών στους ασθενείς. Η τρέχουσα εξάρτηση από κλινικούς παράγοντες, όπως η κλίμακα κατάστασης απόδοσης Karnofsky, και τα απλοϊκά ακτινολογικά χαρακτηριστικά είναι, ωστόσο, ανεπαρκής για την πρόβλεψη επιβίωσης σε όγκους όπως το γλοίωμα που επιδεικνύουν μοριακή και κλινική ετερογένεια με ποικίλα αποτελέσματα επιβίωσης. Η πρόοδος στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης έχει προσφέρει ισχυρά εργαλεία για την καταγραφή ενός μεγάλου αριθμού κρυφών χαρακτηριστικών απεικόνισης υψηλών διαστάσεων που αντικατοπτρίζουν άφθονες πληροφορίες σχετικά με τη δομή και τη φυσιολογία του όγκου (Jian et al., 2022). Στο ίδιο πλαίσιο, μελέτη των Liao et al. (2019) εξετάζει την ικανότητα πρόβλεψης χαρακτηριστικών πολυδιάστατης μαγνητικής τομογραφίας για την έκβαση της επιβίωσης σε ομάδες ασθενών με πολύμορφο γλοιοβλάστωμα καθώς και τη συσχέτιση με διαφορετικά εκφραζόμενα Γονίδια (RNA Sequencing). Συλλέχθηκαν δεδομένα μαγνητικής τομογραφίας 137 ασθενών με γλοιοβλάστωμα, οι οποίοι χωρίστηκαν σε δύο ομάδες ανάλογα με τον χρόνο επιβίωσής τους (περισσότερο ή λιγότερο από 1 έτος). Εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικοί αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την κατασκευή των μοντέλων πρόβλεψης. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών της εικόνας και της γονιδιωματικής αναλύθηκαν με ανάλυση συσχέτισης Pearson. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι ανάλυση ραδιογονιδιωματικής δείχνει ότι τα χαρακτηριστικά της μαγνητικής τομογραφίας είναι προγνωστικά των αποτελεσμάτων επιβίωσης και τα χαρακτηριστικά εικόνας συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με επιλεκτικά μεταγονίδια. Ως εκ τούτου, η ραδιογονιδιωματική ανάλυση είναι μια χρήσιμη μέθοδος για τη βελτιστοποίηση της κλινικής διάγνωσης και την επιλογή αποτελεσματικών θεραπειών.

3.2.4 Προκλήσεις

Γενικότερα, υπάρχει μεγάλο πεδίο εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στο πεδίο της νευροχειρουργικής, αυξάνοντας δυνητικά την ταχύτητα και την ακρίβεια της διάγνωσης σε ακτινολογικές και παθολογικές εικόνες. Επιπλέον, οι βελτιώσεις στα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα ξεπέρασαν δύσκολες προκλήσεις παραδίδοντας υψηλών διαστάσεων αναπαραστάσεις δεδομένων απεικόνισης. Αυτές οι βελτιώσεις στα μοντέλα και τις τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να εφαρμοστούν για την αποσαφήνιση των χαρακτηριστικών φαινοτύπων απεικόνισης των μεταλλαγμένων γλοιομάτων (Gutman and Young, 2021).

Από την άλλη πλευρά, αυτή η νέα εποχή της επαυξημένης πρακτικής της τεχνητής νοημοσύνης έχει ισάριθμους σκεπτικιστές και υποστηρικτές. Οι Horsfall et al. (2021) αξιολογούν τις στάσεις των χειρουργών και της ευρύτερης χειρουργικής ομάδας για τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης στη νευροχειρουργική. Εφαρμόζοντας διατομική έρευνα 2 σταδίων σε δείγμα χειρουργών, αναισθησιολόγων, και μέσω ερωτηματολογίων με κλίμακα Likert 5 σημείων, η μελέτη προσδιορίζει έξι βασικά θέματα: (1) ερμηνεία απεικόνισης και προεγχειρητική διάγνωση, (2) συντονισμός χειρουργικής ομάδας, (3) χειρουργικός σχεδιασμός, (4) ειδοποίηση κινδύνων και επιπλοκών σε πραγματικό χρόνο, (5) αυτόνομη χειρουργική επέμβαση, και (6) μετεγχειρητική διαχείριση και παρακολούθηση. Συνολικά, το 62% συμφωνεί ή συμφωνεί απόλυτα σχετικά με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης για την ερμηνεία απεικόνισης, το 82% για τον επιχειρησιακό σχεδιασμό, το 70% για τον συντονισμό της χειρουργικής ομάδας, το 85% για ειδοποίηση κινδύνων και επιπλοκών σε πραγματικό χρόνο, και το 66% για αυτόνομη χειρουργική επέμβαση. Ωστόσο, μόλις το 49% θεωρεί σημαντικό τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης σημαντικό στη μετεγχειρητική διαχείριση.

Σύμφωνα με τους Wilson et al. (2021), υπάρχει πολλή συζήτηση σχετικά με τον ψηφιακό μετασχηματισμό και τις δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Ωστόσο, παραμένει σπάνιο να βρεθούν λύσεις τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύσσονται σε συνήθεις ρυθμίσεις υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό οφείλεται εν μέρει στις πολυάριθμες προκλήσεις που ενυπάρχουν στην υλοποίηση ενός έργου τεχνητής νοημοσύνης σε κλινικό περιβάλλον. Σε αυτό το πλαίσιο, αρκετοί επαγγελματίες υγείας και ακαδημαϊκοί του Ηνωμένου Βασιλείου αναλογίζονται τις προκλήσεις που έχουν αντιμετωπίσει στην κατασκευή λύσεων

τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιώντας δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης που συλλέγονται τακτικά και οργανώνονται σε τέσσερις φάσεις: εννοιολόγηση, διαχείριση δεδομένων, εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης, και κλινική ανάπτυξη.

Σε κάποιο βαθμό, τα υπάρχοντα συστήματα που βασίζονται σε τεχνολογίες βαθιάς μάθησης μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας διάγνωσης όγκων εγκεφάλου. Ωστόσο, παραμένουν ορισμένοι περιορισμοί. Πρώτον, λόγω του ακριβούς κόστους επισημάνσης και της έλλειψης εικόνων μαγνητικής τομογραφίας εγκεφάλου, μικρές βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούνται στα περισσότερα τρέχοντα συστήματα (συνήθως έως 5000 πρωτότυπες εικόνες MRI). Επομένως, η γενίκευση αυτών των συστημάτων δεν είναι ιδανική. Δεύτερον, τα περισσότερα τρέχοντα συστήματα αγνοούν τα δομικά χαρακτηριστικά του εγκεφάλου και θεωρούν το έργο της διάγνωσης όγκων εγκεφάλου ως απλώς μια απλή εφαρμογή αναγνώρισης προτύπων. Στην πραγματικότητα, μια φυσιολογική εικόνα του εγκεφάλου είναι περίπου αμφίπλευρα συμμετρική και αυτό το χαρακτηριστικό του εγκεφάλου μπορεί να συμβάλει στην ανίχνευση εγκεφαλικών ανωμαλιών (Huang et al., 2020).

Τέλος, η αυξημένη χρήση της τεχνολογίας έχει μειώσει τον αριθμό των ευκαιριών απασχόλησης, για τις οποίες ενδιαφέρονται πολλοί γιατροί που ασκούν το επάγγελμα. Αναλυτικά και λογικά, οι μηχανές μπορεί να είναι σε θέση να μεταφράσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά, αλλά ορισμένα ανθρώπινα χαρακτηριστικά όπως η κριτική σκέψη, οι διαπροσωπικές και επικοινωνιακές δεξιότητες, η συναισθηματική νοημοσύνη και η δημιουργικότητα δεν μπορούν να βελτιωθούν από τις μηχανές (Malik et al., 2019).

4. Συζήτηση/Συμπεράσματα

Είναι γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία έχει υπάρξει σημαντική εξέλιξη στον τομέα της νευροχειρουργικής και της νευρο-ογκολογίας. Για παράδειγμα, παλαιότερη μελέτη (Kickingereder et al., 2016), αναδεικνύει συσχετίσεις μεταξύ της καθιερωμένης απεικόνισης χαρακτηριστικών από μαγνητική τομογραφία και μοριακών χαρακτηριστικών και διαπιστώνει ότι δεν είναι επαρκείς για να καταστεί δυνατή η δημιουργία ταξινόμησης των μοντέλων μηχανικής μάθησης για αξιόπιστη και κλινικά σημαντική πρόβλεψη μοριακών χαρακτηριστικών σε ασθενείς με γλοιοβλάστωμα.

Στην ακτινολογική ογκολογία, το πρώτο βήμα είναι η αναγνώριση του όγκου ιστού που πρόκειται να ακτινοβοληθεί, μια διαδικασία που ονομάζεται τμηματοποίηση εικόνας. Στις μεθόδους υπολογιστικής ανάλυσης εικόνας, η τμηματοποίηση βασίζεται στην ανίχνευση ενός συνόλου χαρακτηριστικών απεικόνισης υψηλών διαστάσεων (υφή) που υπάρχουν στον όγκο αλλά απουσιάζουν στον φυσιολογικό ιστό (Kocher, 2020). Επιπλέον, σε μια εποχή ιατρικής ακριβείας, έχει διεξαχθεί εντατική έρευνα σε δείκτες απεικόνισης που προέρχονται από κλινικές εικόνες ρουτίνας μαγνητικής τομογραφίας για να ταιριάζουν με παρατηρήσεις σχετικά με τα μοριακά χαρακτηριστικά των γλοιοβλαστωμάτων με μη επεμβατικό τρόπο. Λαμβάνοντας μια εξατομικευμένη άποψη της νόσου, οι προσεγγίσεις της ιατρικής ακριβείας στοχεύουν στο να επιτρέψουν την εξατομικευμένη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διάγνωση και τις θεραπευτικές προσεγγίσεις με χρήση πολλαπλών πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της γονιδιωματικής (Corr et al., 2022).

Τα γλοιώματα είναι ένας από τους πιο καταστροφικούς πρωτογενείς όγκους του εγκεφάλου που επιβάλλουν σημαντικές προκλήσεις διαχείρισης στους κλινικούς γιατρούς. Η επιθετική συμπεριφορά των γλοιωμάτων αποδίδεται κυρίως στον γρήγορο πολλαπλασιασμό τους, στην απολεσθείσα γονιδιωματική τους δομή και στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό που προστατεύει τα καρκινικά κύτταρα από τα χημειοθεραπευτικά σχήματα. Οι ύποπτοι για όγκους εγκεφάλου συνήθως αξιολογούνται με μαγνητική τομογραφία και αξονική τομογραφία. Αυτές οι εικόνες επιτρέπουν στους χειρουργούς να αποφασίσουν για τη διαβάθμιση του όγκου, την διεγχειρητική παθολογία, τη σκοπιμότητα της χειρουργικής επέμβασης και τον σχεδιασμό της θεραπείας. Όλα αυτά τα δεδομένα συγκεντρώνονται χειροκίνητα από

γιατρούς, όπου απαιτείται χρόνος για την επικύρωση των αποτελεσμάτων και την ολοκλήρωση του τρόπου θεραπείας. Σε αυτό το πλαίσιο, η άφιξη της τεχνητής νοημοσύνης σε αυτή την εποχή της εξατομικευμένης ιατρικής φέρει μαζί της πολλά υποσχόμενες επιδόσεις στη διάγνωση και τη διαχείριση των γλοιωμάτων. Ξεκινώντας από την πρόβλεψη βαθμολόγησης μέχρι την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης έχει φέρει επανάσταση στην ογκολογική έρευνα, διαφοροποιώντας επακριβώς την αλλοίωση του όγκου από τους υγιείς ιστούς. Ωστόσο, μέχρι σήμερα, η χρησιμότητα της τεχνητής νοημοσύνης στο νευροογκολογικό τομέα παραμένει περιορισμένη λόγω των θεμάτων που αφορούν την αξιοπιστία και τη διαφάνεια (Daisy and Anitha, 2021).

Διαπιστώθηκε ότι η διασταύρωση της βιολογίας και της τεχνολογίας έχει επιφέρει πολλές προόδους στον τομέα της νευροχειρουργικής. Οι μοριακές εξελίξεις έχουν οδηγήσει στον εντοπισμό συγκεκριμένων μεταλλάξεων, επιτρέποντας πιο ακριβείς συζητήσεις σχετικά με την πρόγνωση και το αποτέλεσμα της θεραπείας. Οι νέες μέθοδοι απεικόνισης, συμπεριλαμβανομένου του αναδυόμενου τομέα της ραδιογονιδιωματικής, περιλαμβάνουν τη συγχώνευση μοριακών και ακτινογραφικών δεδομένων, επιτρέποντας πρώιμες, λεπτομερείς μοριακές διαγνώσεις και βελτιωμένη επιτήρηση αυτής της παθολογίας. Επιπλέον, οι χειρουργικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε ασφαλέστερες και εκτενέστερες εκτομές (Dastagirzada et al. 2021).

Η ραδιογονιδιωματική συμβάλλει στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου μέσω της ακριβούς διάγνωσης, η οποία απαιτεί αυστηρή οριοθέτηση του ιστού που επηρεάζεται από τον όγκο. Η κατάτμηση του όγκου του εγκεφάλου περιλαμβάνει την κατάτμηση διαφορετικών ιστών ιδιαίτερα, των ενισχυτικών περιοχών του όγκου, των μη ενισχυτικών περιοχών και των νεκρωτικών περιοχών και του οιδήματος. Με την αυξανόμενη υπολογιστική ισχύ και την κοινή χρήση δεδομένων, οι προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης, έχουν αρχίσει να κυριαρχούν στον τομέα της τμηματοποίησης ιατρικών εικόνων. Η ακριβής κατάτμηση του όγκου βοηθά στον προγραμματισμό της χειρουργικής επέμβασης και στην παρακολούθηση της προόδου, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την κακοήθη ανάπτυξη (Yousaf et al., 2020). Επιπλέον, η ραδιογονιδιωματική συσχετίζει τους βιοδείκτες απεικόνισης με τα γενετικά και μοριακά χαρακτηριστικά, ώστε ο χειρουργικός σχεδιασμός και η θεραπεία να είναι προσαρμοσμένα στον ασθενή (European Society of Radiology, 2015).

Η αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της ραδιογονιδιωματικής στον χειρουργικό σχεδιασμό εγκεφάλου συνδέεται με το γεγονός ότι η απεικονιστική διάγνωση είναι ζωτικής σημασίας για την έγκαιρη ανίχνευση και παρακολούθηση των όγκων του εγκεφάλου. Η ραδιογονιδιωματική επιτρέπει την εξαγωγή μιας μεγάλης μάζας ποσοτικών χαρακτηριστικών από πολύπλοκους πίνακες κλινικής απεικόνισης, τα οποία μετατρέπονται σε δεδομένα υψηλών διαστάσεων και εξορύσσονται για να βρεθεί η σχέση τους με τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του όγκου. Τα ιστολογικά χαρακτηριστικά αντικατοπτρίζουν τις υποκείμενες γενετικές μεταλλάξεις και την κακοήθεια, μαζί με τον βαθμό, την εξέλιξη, το θεραπευτικό αποτέλεσμα ή ακόμη και συνολική επιβίωση (Zhou et al., 2018). Σε αυτό το πλαίσιο, διαπιστώθηκε ότι η κατηγοριοποίηση του γλοιώματος με βάση βιολογικούς γονότυπους και η εφαρμογή μηχανικής μάθησης ή προγνωστικών μοντέλων βαθιάς μάθησης με βιοδείκτες για την αξιολόγηση αυτών των γονότυπων παρέχουν πιθανή διασφάλιση για βέλτιστα και εξατομικευμένα σχέδια θεραπείας και καλύτερη αποτελεσματικότητα (Menze et al., 2021). Περαιτέρω, η ποσοτική αξιολόγηση του γλοιώματος με βάση την τεχνητή νοημοσύνη με χρήση χειροποίητων ή αυτόματα εξαγόμενων χαρακτηριστικών που προέρχονται από μαγνητική τομογραφία έχει καταστεί κρίσιμη καθώς οι γονιδιωματικές αλλοιώσεις μπορούν να συσχετιστούν με φαινότυπους που βασίζονται σε μαγνητική τομογραφία. Ως εκ τούτου, κατέστη σαφές ότι η ραδιοϊατρική τελευταίας τεχνολογίας και η τεχνητή νοημοσύνη σχετίζονται με τη μοριακή διάγνωση, την πρόγνωση και την παρακολούθηση της θεραπείας με στόχο τη δημιουργία ενός δομημένου πόρου για τη ραδιογονιδιωματική ανάλυση του γλοιώματος (Papadimitroulas et al., 2021).

Το ακριβό κόστος επισήμανσης του όγκου, η χρήση μικρών βάσεων δεδομένων μαγνητικής τομογραφίας, και η διάγνωση όγκων εγκεφάλου ως μια απλή εφαρμογή αναγνώρισης προτύπων δημιουργούν την ανάγκη εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στη νευροχειρουργική και τη νευρο-ογκολογία. Ωστόσο, τίθενται συγκεκριμένες προκλήσεις που αφορούν στην κριτική σκέψη, τις διαπροσωπικές και επικοινωνιακές δεξιότητες, τη συναισθηματική νοημοσύνη και τη δημιουργικότητα των κλινικών ιατρών που δεν μπορούν να βελτιωθούν από τις μηχανές. Επομένως, απαιτείται ο σχεδιασμός βέλτιστων λύσεων για τη στρωματοποίηση του γλοιώματος με άμεσες συστάσεις για περαιτέρω διαγνωστικές αποφάσεις και εξατομικευμένα σχέδια θεραπείας για ασθενείς με γλοίωμα.

Εν κατακλείδι, οι συνεχείς εξελίξεις στις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης αναμένεται να φέρουν καινοτομίες στο μέλλον της υγειονομικής περίθαλψης. Η εκρηκτική ανάπτυξη των ψηφιακών δεδομένων, η επέκταση της ισχύος των υπολογιστών που τροφοδοτείται από την καινοτομία σε τεχνολογίες υλικού, όπως η μονάδα επεξεργασίας γραφικών και οι γρήγορες εξελίξεις στους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, που εφαρμόζονται ευρέως με τη χρήση deep μάθησης, είναι παράγοντες που αναμένεται να καθορίσουν σημαντικά τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Αντίστοιχα, πολυάριθμα ιατρικά περιοδικά έχουν ήδη δημοσιεύσει πολύ μεγάλο αριθμό μελετών που αναλύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων υγείας, χρησιμοποιώντας τεχνολογία μηχανικής μάθησης για τη διάγνωση και τη θεραπεία ασθενών.

Οι μελέτες που αναφέρθηκαν στην παρούσα διπλωματική επιβεβαιώνουν ότι η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Ειδικότερα, σε σχέση με τα γλοιοβλαστώματα και τους όγκους εγκεφάλου, αποδεικνύεται ότι η ανάλυση ιατρικών εικόνων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης συμβάλλει σημαντικά στον χειρουργικό σχεδιασμό και την επιλογή θεραπείας. Προβλέποντας την πορεία του ασθενούς μέσω ιατρικών συσκευών που μπορούν να υποστηρίξουν τη διάγνωση και τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια των θεραπειών ενδέχεται να βελτιωθεί και ο χρόνος επιβίωσης του ασθενούς.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Abdel Razek, A.A.K., Alksas, A., Shehata, M., AbdelKhalek, A., Abdel Baky, K., El-Baz, A. and Helmy, E., (2021). Clinical applications of artificial intelligence and radiomics in neuro-oncology imaging. *Insights into Imaging*, 12(1), pp.1-17.

Bhardwaj, A., (2022). Promise and Provisos of Artificial Intelligence and Machine Learning in Healthcare. *Journal of Healthcare Leadership*, 14, pp.113-118.

Brown, T.J., Brennan, M.C., Li, M., Church, E.W., Brandmeir, N.J., Rakszawski, K.L., Patel, A.S., Rizk, E.B., Suki, D., Sawaya, R. and Glantz, M., (2016). Association of the extent of resection with survival in glioblastoma: a systematic review and meta-analysis. *JAMA oncology*, 2(11), pp.1460-1469.

Buchlak, Q.D., Esmaili, N., Leveque, J.C., Bennett, C., Farrokhi, F. and Piccardi, M., (2021). Machine learning applications to neuroimaging for glioma detection and classification: An artificial intelligence augmented systematic review. *Journal of Clinical Neuroscience*, 89, pp.177-198.

Buda, M., Saha, A. and Mazurowski, M.A., (2019). Association of genomic subtypes of lower-grade gliomas with shape features automatically extracted by a deep learning algorithm. *Computers in biology and medicine*, 109, pp.218-225.

Calabrese, E., Rudie, J.D., Rauschecker, A.M., Villanueva-Meyer, J.E., Clarke, J.L., Solomon, D.A. and Cha, S., (2022). Combining radiomics and deep convolutional neural network features from preoperative MRI for predicting clinically relevant genetic biomarkers in glioblastoma. *Neuro-oncology advances*, 4(1), pp. 1-11.

Chang, H.H. and Mukherjee, A., (2022). Using machine learning to extract insights from consumer data. *Encyclopedia of Data Science and Machine Learning*. 1-17. Research Collection Lee Kong Chian School of Business.

Cohen, A.L. and Colman, H., (2015). Glioma biology and molecular markers. *Current understanding and treatment of gliomas*, pp.15-30.

Corr, F., Grimm, D., Saß, B., Pojskić, M., Bartsch, J.W., Carl, B., Nimsy, C. and Bopp, M.H., (2022). Radiogenomic Predictors of Recurrence in Glioblastoma—A Systematic Review. *Journal of Personalized Medicine*, 12(3), pp.1-23.

Cui, Y., (2021). Intelligent recommendation system based on mathematical modeling in personalized data mining. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, pp.1-11.

Dagi, T.F., Barker, F.G. and Glass, J., (2021). Machine learning and artificial intelligence in neurosurgery: status, prospects, and challenges. *Neurosurgery*, 89(2), pp.133-142.

Daisy, P.S. and Anitha, T.S., (2021). Can artificial intelligence overtake human intelligence on the bumpy road towards glioma therapy? *Medical Oncology*, 38(5), pp.1-11.

Danilov, G.V., Shifrin, M.A., Kotik, K.V., Ishankulov, T.A., Orlov, Y.N., Kulikov, A.S. and Potapov, A.A., (2020). Artificial intelligence technologies in neurosurgery: A systematic

literature review using topic modeling. Part II: Research objectives and perspectives. *Современные технологии в медицине*, 12(6 (eng)), pp.111-118.

Dastagirzada, Y., Suryadevara, C., Weiss, H. and Orringer, D., (2021). Neurosurgical Advances for Malignant Gliomas: Intersection of Biology and Technology. *The Cancer Journal*, 27(5), pp.364-370.

Davenport, T. and Kalakota, R., (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future healthcare journal*, 6(2), pp.94-98.

Deloitte (2018). The state of AI in the enterprise 2nd annual survey highlights. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4780_State-of-AI-in-the-enterprise/AICognitiveSurvey2018_Infographic.pdf

Dundar, T.T., Yurtsever, I., Pehlivanoglu, M.K., Yildiz, U., Eker, A., Demir, M.A., Mutluer, A.S., Tektaş, R., Kazan, M.S., Kitis, S. and Gokoglu, A., (2022). Machine Learning-Based Surgical Planning for Neurosurgery: Artificial Intelligent Approaches to the Cranium. *Frontiers in surgery*, 9, pp.1-10.

European Society of Radiology (ESR) (2015). Medical imaging in personalised medicine: a white paper of the research committee of the European Society of Radiology (ESR). *Insights into imaging*, 6, pp.141-155.

Forghani, R., (2020). Precision digital oncology: Emerging role of radiomics-based biomarkers and artificial intelligence for advanced imaging and characterization of brain tumors. *Radiology: Imaging Cancer*, 2(4), pp.1-13

Galldiks, N., Angenstein, F., Werner, J.M., Bauer, E.K., Gutsche, R., Fink, G.R., Langen, K.J. and Lohmann, P., (2022). Use of advanced neuroimaging and artificial intelligence in meningiomas. *Brain pathology*, 32(2), pp.1-16.

Ganapathy, K., Abdul, S.S. and Nursetyo, A.A., (2018). Artificial intelligence in neurosciences: A clinician's perspective. *Neurology India*, 66(4), p.934-939.

Gutman, D.C. and Young, R.J., (2021). IDH glioma radiogenomics in the era of deep learning. *Neuro-oncology*, 23(2), pp.182-183.

Gutman, D.A., Cooper, L.A., Hwang, S.N., Holder, C.A., Gao, J., Aurora, T.D., Dunn Jr, W.D., Scarpace, L., Mikkelsen, T., Jain, R. and Wintermark, M., (2013). MR imaging predictors of molecular profile and survival: multi-institutional study of the TCGA glioblastoma data set. *Radiology*, 267(2), pp.560-569.

Habib, A., Jovanovich, N., Hoppe, M., Ak, M., Mamindla, P., R. Colen, R. and Zinn, P.O., (2021). MRI-based radiomics and radiogenomics in the management of low-grade gliomas: evaluating the evidence for a paradigm shift. *Journal of Clinical Medicine*, 10(7), pp. 1-10.

Hiebl, M.R., (2021). Sample selection in systematic literature reviews of management research. *Organizational research methods*, pp.1-33.

Ho, R.C., (2021). Chatbot for online customer service: Customer engagement in the era of artificial intelligence. In *Impact of globalization and advanced technologies on online business models* (pp. 16-31). IGI Global.

Hong, E.K., Choi, S.H., Shin, D.J., Jo, S.W., Yoo, R.E., Kang, K.M., Yun, T.J., Kim, J.H., Sohn, C.H., Park, S.H. and Won, J.K., (2018). Radiogenomics correlation between MR imaging features and major genetic profiles in glioblastoma. *European radiology*, 28(10), pp.4350-4361.

Horsfall, H.L., Palmisciano, P., Khan, D.Z., Muirhead, W., Koh, C.H., Stoyanov, D. and Marcus, H.J., (2021). Attitudes of the surgical team toward artificial intelligence in neurosurgery: international 2-stage cross-sectional survey. *World Neurosurgery*, 146, pp.e724-e730.

Hu, L.S., Ning, S., Eschbacher, J.M., Baxter, L.C., Gaw, N., Ranjbar, S., Plasencia, J., Dueck, A.C., Peng, S., Smith, K.A. and Nakaji, P., (2017). Radiogenomics to characterize regional genetic heterogeneity in glioblastoma. *Neuro-oncology*, 19(1), pp.128-137.

Huang, Z., Xu, H., Su, S., Wang, T., Luo, Y., Zhao, X., Liu, Y., Song, G. and Zhao, Y., (2020). A computer-aided diagnosis system for brain magnetic resonance imaging images using a novel differential feature neural network. *Computers in biology and medicine*, 121, 103818.

IBM (2022). *Artificial Intelligence (AI)*. Διαθέσιμο: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence> [πρόσβαση 20 Νοε. 2022].

IBM (2020). *What is Artificial Intelligence (AI)?* Διαθέσιμο: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence> [πρόσβαση 8 Νοε. 2022].

Incoronato, M., Aiello, M., Infante, T., Cavaliere, C., Grimaldi, A.M., Mirabelli, P., Monti, S. and Salvatore, M., (2017). Radiogenomic analysis of oncological data: a technical survey. *International journal of molecular sciences*, 18(4), pp.1-28.

Jain, R. and Chi, A.S., (2021). Radiogenomics identifying important biological pathways in gliomas. *Neuro-oncology*, 23(2), pp.177-178.

Jian, A., Liu, S. and Di Ieva, A., (2022). Artificial Intelligence for Survival Prediction in Brain Tumors on Neuroimaging. *Neurosurgery*, 91(1), pp.8-26.

Jin, W., Fatehi, M., Abhishek, K., Mallya, M., Toyota, B. and Hamarneh, G., (2020). Artificial intelligence in glioma imaging: challenges and advances. *Journal of neural engineering*, 17(2), pp.1-31.

Khan, K.S., Kunz, R., Kleijnen, J. and Antes, G., (2003). Five steps to conducting a systematic review. *Journal of the royal society of medicine*, 96(3), pp.118-121.

Kickingreder, P., Bonekamp, D., Nowosielski, M., Kratz, A., Sill, M., Burth, S., Wick, A., Eidel, O., Schlemmer, H.P., Radbruch, A. and Debus, J., (2016). Radiogenomics of glioblastoma: machine learning–based classification of molecular characteristics by using multiparametric and multiregional MR imaging features. *Radiology*, 281(3), pp.907-918.

Kocher, M., (2020). Artificial intelligence and radiomics for radiation oncology. *Strahlentherapie und Onkologie*, 196(10), pp.847-847.

- Lambin, P., Leijenaar, R.T., Deist, T.M., Peerlings, J., De Jong, E.E., Van Timmeren, J., Sanduleanu, S., Larue, R.T., Even, A.J., Jochems, A. and van Wijk, Y., (2017). Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nature reviews Clinical oncology*, 14(12), pp.749-762.
- Lame, G. (2019). Systematic Literature Reviews: An Introduction in *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*, Delft, The Netherlands, 5-8 August 2019.
- Larentzakis, A. and Lygeros, N., (2021). Artificial intelligence (AI) in medicine as a strategic valuable tool. *The Pan African Medical Journal*, 38(184), pp.1-11.
- Lasocki, A., Rosenthal, M.A., Roberts-Thomson, S.J., Neal, A. and Drummond, K.J., (2020). Neuro-oncology and radiogenomics: time to integrate? *American Journal of Neuroradiology*, 41(11), pp.1982-1988.
- Liao, X., Cai, B., Tian, B., Luo, Y., Song, W. and Li, Y., (2019). Machine-learning-based radiogenomics analysis of MRI features and metagenes in glioblastoma multiforme patients with different survival time. *Journal of cellular and molecular medicine*, 23(6), pp.4375-4385.
- Le, N.Q.K., Hung, T.N.K., Do, D.T., Lam, L.H.T., Dang, L.H. and Huynh, T.T., (2021). Radiomics-based machine learning model for efficiently classifying transcriptome subtypes in glioblastoma patients from MRI. *Computers in Biology and Medicine*, 132, pp.1-26.
- Lohmann, P., Galldiks, N., Kocher, M., Heinzl, A., Filss, C.P., Stegmayr, C., Mottaghy, F.M., Fink, G.R., Shah, N.J. and Langen, K.J., (2021). Radiomics in neuro-oncology: Basics, workflow, and applications. *Methods*, 188, pp.112-121.
- Ludwig, K. and Kornblum, H.I., (2017). Molecular markers in glioma. *Journal of neuro-oncology*, 134(3), pp.505-512.
- Malik, P., Pathania, M. and Rathaur, V.K., (2019). Overview of artificial intelligence in medicine. *Journal of family medicine and primary care*, 8(7), pp.2328-2331.
- Menze, B., Isensee, F., Wiest, R., Wiestler, B., Maier-Hein, K., Reyes, M. and Bakas, S., (2021). Analyzing magnetic resonance imaging data from glioma patients using deep learning. *Computerized medical imaging and graphics*, 88, pp.1-24.
- Mofatteh, M., (2021). Neurosurgery and artificial intelligence. *AIMS Neuroscience*, 8(4), pp.477-495.
- Noreen, N., Palaniappan, S., Qayyum, A., Ahmad, I., Imran, M. and Shoaib, M., (2020). A deep learning model based on concatenation approach for the diagnosis of a brain tumor. *IEEE Access*, 8, pp.55135-55144.
- Ostrom, Q.T., Rubin, J.B., Lathia, J.D., Berens, M.E. and Barnholtz-Sloan, J.S., (2018). Females have a survival advantage in glioblastoma. *Neuro-oncology*, 20(4), p.576-577.
- Papadimitroulas, P., Brocki, L., Chung, N.C., Marchadour, W., Vermet, F., Gaubert, L., Eleftheriadis, V., Plachouris, D., Visvikis, D., Kagadis, G.C. and Hatt, M., (2021). Artificial intelligence: Deep learning in oncological radiomics and challenges of interpretability and data harmonization. *Physica Medica*, 83, pp.108-121.

- Park, J.E., (2022). Artificial Intelligence in Neuro-Oncologic Imaging: A Brief Review for Clinical Use Cases and Future Perspectives. *Brain Tumor Research and Treatment*, 10(2), pp. 69-75.
- Park, C.W., Seo, S.W., Kang, N., Ko, B., Choi, B.W., Park, C.M., Chang, D.K., Kim, H., Kim, H., Lee, H. and Jang, J., (2020). Artificial intelligence in health care: Current applications and issues. *Journal of Korean medical science*, 35(42), pp.1-13
- Patel, U.K., Anwar, A., Saleem, S., Malik, P., Rasul, B., Patel, K., Yao, R., Seshadri, A., Yousufuddin, M. and Arumaithurai, K., (2021). Artificial intelligence as an emerging technology in the current care of neurological disorders. *Journal of neurology*, 268(5), pp.1623-1642.
- Peralta, M., Jannin, P. and Baxter, J.S., 2021. Machine learning in deep brain stimulation: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 122, pp.1-21.
- Pichlmeier, U., Bink, A., Schackert, G. and Stummer, W., 2008. Resection and survival in glioblastoma multiforme: an RTOG recursive partitioning analysis of ALA study patients. *Neuro-oncology*, 10(6), pp.1025-1034.
- Qian, Z., Li, Y., Sun, Z., Fan, X., Xu, K., Wang, K., Li, S., Zhang, Z., Jiang, T., Liu, X. and Wang, Y., (2018). Radiogenomics of lower-grade gliomas: a radiomic signature as a biological surrogate for survival prediction. *Aging (Albany NY)*, 10(10), pp.2884-2899.
- Rolston, J.D., Zygourakis, C.C., Han, S.J., Lau, C.Y., Berger, M.S. and Parsa, A.T., (2014). Medical errors in neurosurgery. *Surgical Neurology International*, 5 (Suppl 10), pp. S435-S440.
- Rudie, J.D., Rauschecker, A.M., Bryan, R.N., Davatzikos, C. and Mohan, S., (2019). Emerging applications of artificial intelligence in neuro-oncology. *Radiology*, 290(3), pp.607-618.
- Sanvito, F., Castellano, A. and Falini, A., (2021). Advancements in neuroimaging to unravel biological and molecular features of brain tumors. *Cancers*, 13(3), pp.1-25.
- Senders, J.T., Arnaout, O., Karhade, A.V., Dasenbrock, H.H., Gormley, W.B., Broekman, M.L. and Smith, T.R., (2018). Natural and artificial intelligence in neurosurgery: a systematic review. *Neurosurgery*, 83(2), pp.181-192.
- Senders, J.T., Zaki, M.M., Karhade, A.V., Chang, B., Gormley, W.B., Broekman, M.L., Smith, T.R. and Arnaout, O., (2018a). An introduction and overview of machine learning in neurosurgical care. *Acta neurochirurgica*, 160(1), pp.29-38.
- Singh, G., Manjila, S., Sakla, N., True, A., Wardeh, A.H., Beig, N., Vaysberg, A., Matthews, J., Prasanna, P. and Spektor, V., 2021. Radiomics and radiogenomics in gliomas: a contemporary update. *British Journal of Cancer*, 125(5), pp.641-657.
- Smrdel, U., Vidmar, M.S. and Smrdel, A., (2018). Glioblastoma in patients over 70 years of age. *Radiology and Oncology*, 52(2), pp.167-172.
- Snyder, H., (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 104, pp.333-339.

- Song, J., Yin, Y., Wang, H., Chang, Z., Liu, Z. and Cui, L., (2020). A review of original articles published in the emerging field of radiomics. *European journal of radiology*, 127, pp.1-8.
- Soomro, S.H., Ting, L.R., Qing, Y.Y. and Ren, M., (2017). Molecular biology of glioblastoma: Classification and mutational locations. *J. Pak. Med. Assoc*, 67, pp.1410-1414.
- Sotoudeh, H., Shafaat, O., Bernstock, J.D., Brooks, M.D., Elsayed, G.A., Chen, J.A., Szerip, P., Chagoya, G., Gessler, F., Sotoudeh, E. and Shafaat, A., (2019). Artificial intelligence in the management of glioma: the era of personalized medicine. *Frontiers in oncology*, 9, pp.1-11.
- Sun, Q., Chen, Y., Liang, C., Zhao, Y., Lv, X., Zou, Y., Yan, K., Zheng, H., Liang, D. and Li, Z.C., (2021). Biologic pathways underlying prognostic radiomics phenotypes from paired MRI and RNA sequencing in glioblastoma. *Radiology*, 301(3), pp.654-663.
- Sun, Z., Li, Y., Wang, Y., Fan, X., Xu, K., Wang, K., Li, S., Zhang, Z., Jiang, T. and Liu, X., (2019). Radiogenomic analysis of vascular endothelial growth factor in patients with diffuse gliomas. *Cancer Imaging*, 19(1), pp.1-8.
- Taha, B., Boley, D., Sun, J. and Chen, C.C., (2021). State of radiomics in glioblastoma. *Neurosurgery*, 89(2), pp.177-184.
- Talo, M., Baloglu, U.B., Yıldırım, Ö. and Acharya, U.R., (2019). Application of deep transfer learning for automated brain abnormality classification using MR images. *Cognitive Systems Research*, 54, pp.176-188.
- Trivizakis, E., Papadakis, G.Z., Souglakos, I., Papanikolaou, N., Koumakis, L., Spandidos, D.A., Tsatsakis, A., Karantanas, A.H. and Marias, K., (2020). Artificial intelligence radiogenomics for advancing precision and effectiveness in oncologic care. *International journal of oncology*, 57(1), pp.43-53.
- University of York (2022). *The role of natural language processing in AI*. Available at: [https://online.york.ac.uk/the-role-of-natural-language-processing-in-ai/#:~:text=\[πρόσβαση 12 Νοε. 2022\].](https://online.york.ac.uk/the-role-of-natural-language-processing-in-ai/#:~:text=[πρόσβαση 12 Νοε. 2022].)
- Wang, Q., Zhang, L., Yan, Z., Xie, L., An, Y., Li, H., Han, Y., Zhang, G., Dong, H., Zheng, H. and Zhu, W., (2019). OScC: an online survival analysis web server to evaluate the prognostic value of biomarkers in cervical cancer. *Future Oncology*, 15(32), pp.3693-3699.
- Wei, W., Ma, L., Yang, L., Lu, R. and Xi, C., 2022. Artificial Intelligence Algorithm-Based Positron Emission Tomography (PET) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) in the Treatment of Glioma Biopsy. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2022, pp.1-9.
- Wise, J., (2020). Life as a neurosurgeon. *BMJ*, 368, pp.1-2.
- Xu, Y., Liu, X., Cao, X., Huang, C., Liu, E., Qian, S., Liu, X., Wu, Y., Dong, F., Qiu, C.W. and Qiu, J., (2021). Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation*, 2(4), pp.1-20.

Yi, Z., Long, L., Zeng, Y. and Liu, Z., (2021). Current advances and challenges in radiomics of brain tumors. *Frontiers in oncology*, pp.1-19.

Yousaf, S., RaviPrakash, H., Anwar, S.M., Sohail, N. and Bagci, U., (2020). State-of-the-art in brain tumor segmentation and current challenges. In *Machine Learning in Clinical Neuroimaging and Radiogenomics in Neuro-Oncology* (pp. 189-198). Springer, Cham.

Zhou, M., Scott, J., Chaudhury, B., Hall, L., Goldgof, D., Yeom, K.W., Iv, M., Ou, Y., Kalpathy-Cramer, J., Napel, S. and Gillies, R., 2018. Radiomics in brain tumor: image assessment, quantitative feature descriptors, and machine-learning approaches. *American Journal of Neuroradiology*, 39(2), pp.208-216.

Zinn, P.O., Sathyan, P., Mahajan, B., Bruyere, J., Hegi, M., Majumder, S. and Colen, R.R., (2012). A novel volume-age-KPS (VAK) glioblastoma classification identifies a prognostic cognate microRNA-gene signature. *PLoS ONE* 7(8): pp.1-9.