



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ & ΤΜΗΜΑ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΗΘΙΚΗ ΣΤΙΣ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

***"ΗΘΙΚΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΓΑΛΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΑ"***

υπό

Μαρία Ξηντάρα

Ειδικευόμενη Οφθαλμολογίας

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Δεοντολογία και Ηθική στις Βιοϊατρικές Επιστήμες»

Λάρισα, 2025

Επιβλέπων:

*Τσούγκος Ιωάννης-Χρυσοβαλάντης, Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Τσούγκος Ιωάννης-Χρυσοβαλάντης, Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας- (Επιβλέπων),*
- 2. Μαυροφόρου Άννα, Καθηγήτρια Δεοντολογίας και Βιοηθικής. Τμήμα Νοσηλευτικής. Σχολή Επιστημών Υγείας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*
- 3. Ανδρούδη Σοφία, Καθηγήτρια Οφθαλμολογίας. Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τίτλος εργασίας στα αγγλικά:

**ETHICAL CONCERNS ASSOCIATED WITH THE APPLICATION OF
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND BIG DATA IN OPHTHALMOLOGY**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	5
Abstract	6
Εισαγωγή	7
Ορισμός και Ιστορική Εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων	8
Βασικές Αρχές και Τεχνολογίες της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων που Σχετίζονται με την Υγειονομική Περίθαλψη	10
Μηχανική Μάθηση – Νευρωνικά Δίκτυα και Βαθιά Μάθηση	10
Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας	12
Απλοί Αυτόματοι Ανιχνευτές	12
Συστήματα Εμπειρογνομόνων με Κανόνες	13
Φυσικά Ρομπότ	13
Αυτοματισμός Διαδικασιών μέσω Ρομποτικής	14
Γενικές Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων στον Τομέα της Υγείας	14
Τεχνητή Νοημοσύνη και Διάγνωση	14
Τεχνητή Νοημοσύνη και Θεραπεία	16
Τεχνητή Νοημοσύνη και Παρασκευή Φαρμάκων	17
Τεχνητή Νοημοσύνη, Διοίκηση υγειονομικής περίθαλψης και Ιατρική Εκπαίδευση	17
Ιατρική Ηθική	18
Αρχές Ιατρικής Ηθικής	18
Ηθικές Προκλήσεις στην Υγειονομική Περίθαλψη	20
Οφθαλμολογία και Τεχνολογικές Εξελίξεις	21
Ιστορική Εξέλιξη της οφθαλμολογίας	22
Τεχνολογικές Καινοτομίες στην Οφθαλμολογία	23
Σκοπός	24
Μεθοδολογία	25
Αποτελέσματα	27
Η Εφαρμογή της ΑΙ και των Μεγάλων Δεδομένων στην Οφθαλμολογία	27
Συγκεκριμένες Εφαρμογές στην Οφθαλμολογία	27
Διάγνωση γλαυκώματος:	28
Νοσήματα αμφιβληστροειδούς:	28
Οφθαλμολογική Ογκολογία	29
Κερατόκωνος	30

Καταρράκτης	31
Παιδιατρική Οφθαλμολογία	32
Οφθαλμοπλαστική	33
Εφαρμογή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης στη πρόβλεψη συστηματικών παθήσεων με βάση τις εικόνες του αμφιβληστροειδούς	34
Ηθικοί Προβληματισμοί στην Οφθαλμολογία	35
Προστασία Δεδομένων και Ασφάλεια	36
Αλγοριθμική μεροληψία (bias)	36
Διαφάνεια και Επεξηγησιμότητα	37
Ιατρική Ευθύνη	38
Ανθρώπινος Ρόλος στη Λήψη Αποφάσεων	39
Ιδιοκτησία δεδομένων υγείας	40
Ισότητα και Πρόσβαση στην Υγειονομική Περίθαλψη	41
Συζήτηση	42
Περιορισμοί της Εργασίας	44
Προτάσεις και Στρατηγικές για την Αντιμετώπιση των Ηθικών Προκλήσεων	44
Συμπεράσματα	46
Βιβλιογραφικές Αναφορές	47

Περίληψη

Αυτή η βιβλιογραφική ανασκόπηση διερευνά υπό το πρίσμα της ιατρικής ηθικής τους προβληματισμούς και τις ανησυχίες που ανακύπτουν από την εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων στην Οφθαλμολογία.

Αρχικά, διευκρινίζονται οι έννοιες της Τεχνητής Νοημοσύνης, των Μεγάλων Δεδομένων και της Ιατρικής Ηθικής, ενώ αναλύονται οι σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα της οφθαλμολογίας. Επισημαίνεται η συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης στην βελτίωση της παρεχόμενης οφθαλμολογικής φροντίδας μέσω ταχύτερης και εγκυρότερης διάγνωσης και θεραπείας μέσω των αυξημένων δυνατοτήτων ανάλυσης δεδομένων και αποθήκευσης πληροφοριών. Στην συνέχεια, αναλύονται οι ηθικές προκλήσεις που σχετίζονται με αυτές τις σύγχρονες τεχνολογίες, όπως η άνιση πρόσβαση σε αυτές, οι ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικότητας των δεδομένων, η διαφάνεια, η αλγοριθμική μεροληψία και ο περιορισμός της αυτονομίας των επαγγελματιών υγείας στην κλινική πράξη. Τέλος, προτείνονται λύσεις και στρατηγικές για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, με σκοπό την ασφαλή και υπεύθυνη ένταξη της Τεχνητής Νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη, πάντα με σεβασμό στις βασικές αρχές της ιατρικής ηθικής.

Λέξεις-κλειδιά : τεχνητή νοημοσύνη, μεγάλα δεδομένα, οφθαλμολογία, ηθική, προστασία δεδομένων

Abstract

This literature review explores, from the perspective of medical ethics, the issues and concerns raised by the application of Artificial Intelligence and Big Data in the field of ophthalmology.

Initially, the concepts of Artificial Intelligence, Big Data and Medical Ethics are clarified, and the current developments in the field of ophthalmology are analyzed. The contribution of AI in improving the provision of ophthalmological care through faster and more valid diagnosis and treatment through increased data analysis and information storage capabilities is highlighted. The various ethical challenges that arise in connection with these modern technologies and their applications, such as unequal access to these technologies, concerns about data privacy, transparency, algorithmic bias, and limitation of health professionals' autonomy in clinical practice, are then discussed. Finally, solutions and strategies are proposed to address these challenges in order to safely and responsibly integrate Artificial Intelligence in healthcare, while consistently respecting the fundamental principles of medical ethics.

Key-words : artificial intelligence, big data, ophthalmology, ethics, data protection,

Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στην διερεύνηση των ηθικών προβληματισμών και διλημμάτων που προκύπτουν από τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων στην ειδικότητα της οφθαλμολογίας. Τα τελευταία χρόνια, οι ραγδαίες εξελίξεις που σχετίζονται με τη τεχνολογία και, συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στην ιατρική, έχουν φέρει επανάσταση στο πεδίο της οφθαλμολογίας, τόσο σε διαγνωστικό όσο και σε θεραπευτικό επίπεδο. Ωστόσο, η αλματώδης πρόοδος της τεχνητής νοημοσύνης εγείρει σοβαρά ηθικά ζητήματα, τα οποία αφορούν την διαχείριση προσωπικών δεδομένων, την αυτονομία του ιατρικού επαγγέλματος, καθώς και την ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικότητας των ασθενών. Η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει τόσο τα οφέλη που υπάρχουν όσο και τους κινδύνους που ενέχονται από τη χρήση αυτών των τεχνολογιών στο πεδίο της οφθαλμολογίας. Αυτό αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης και της συγκεκριμένης εργασίας στην οποία εξετάζονται οι προκλήσεις που σχετίζονται με την χρήση αυτών των τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα οι ανισότητες στην πρόσβαση τους, η εμπιστοσύνη και η υπευθυνότητα των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης, η διαφάνεια των αλγορίθμων και τα ζητήματα ιδιοκτησίας των ιατρικών δεδομένων. Η Τεχνητή Νοημοσύνη και τα Μεγάλα Δεδομένα έχουν προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες και δυνατότητες σε ποικίλες διαγνωστικές εφαρμογές, όπως η αναγνώριση οφθαλμικών παθήσεων μέσω τεχνικών απεικόνισης, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την Οπτική Τομογραφία Συνοχής (OCT-Optical coherence tomography) και πολλές άλλες που θα αναφερθούν διεξοδικά στη συνέχεια. Ωστόσο, παρά την αυξημένη ακρίβεια αυτών των αλγορίθμων και των ολοένα και καλύτερων αποτελεσμάτων που προσφέρει η εφαρμογή τους, ανακύπτουν σοβαρά ηθικά ζητήματα, τα οποία αποτελούν βασικά ζητήματα που θα εξεταστούν στην συγκεκριμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Ορισμός και Ιστορική Εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων

Ο όρος “Τεχνητή Νοημοσύνη” (TN) ή αλλιώς Artificial Intelligence (AI) ερμηνεύεται με ποικίλους τρόπους, εξαρτώμενος κάθε φορά από το πλαίσιο χρήσης αποτελώντας έναν όρο που συχνότερα αναφέρεται σε συστήματα υπολογιστών ή αλγορίθμων που έχουν την ικανότητα μιμηθούν γνωστικές λειτουργίες που “προσομοιάζουν την ανθρώπινη νοημοσύνη”, εκτελώντας εργασίες όπως η ανάλυση, η δια βίου μάθηση, ο προγραμματισμός, η πρόβλεψη, η λήψη αποφάσεων και η επίλυση προβλημάτων, ενώ μπορούν παράλληλα να έχουν μνήμη, να αναγνωρίζουν μοτίβα και να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον [1]. Οι μηχανές TN μπορούν να εκπαιδευτούν ώστε να καταφέρουν να φέρουν εις πέρας αυτού του είδους τις δραστηριότητες, διακρίνοντας διάφορα μοτίβα μέσω επεξεργασίας και ανάλυσης μεγάλου όγκου συλλεγέντων δεδομένων [2].

Η ιστορία της TN ξεκινάει από τη δεκαετία του 1950, όταν ο John McCarthy, μαθηματικός και δημιουργός της γλώσσας προγραμματισμού LISP, εισήγαγε αυτόν τον όρο κατά τη διάρκεια ενός συνεδρίου, αναφερόμενος σε μια μηχανή που είναι “ευφυής”. Ο Alan Turing στη συνέχεια ασχολήθηκε με τη δυνατότητα των μηχανών TN να “σκέφτονται”, μέσω της δοκιμασίας Turing που αποτέλεσε την βάση για την αξιολόγηση της ευφυΐας των μηχανών, συγκρίνοντας το πόσο δύνανται να συμπεριφέρονται σαν “άνθρωποι”. Ωστόσο, η ανάπτυξη της TN παρουσίασε και καθοδικές φάσεις για αρκετά χρόνια. Στη δεκαετία του 1980, παρουσιάστηκε αναζωπύρωση της έρευνας καθώς αναπτύχθηκαν τα λεγόμενα “συστήματα ειδικών γνώσεων” (expert systems), με σκοπό να παρέχουν λύσεις σε εξειδικευμένα και περίπλοκα προβλήματα βάσει της γνώσης ειδικών. Στη συνέχεια, το 2006, ο Geoffrey Hinton και οι συνεργάτες του σημείωσαν μια αρκετά σημαντική ανακάλυψη, δημιουργώντας πιο περίπλοκα νευρωνικά δίκτυα, προωθώντας τις δυνατότητες της μάθησης μηχανών και της βαθιάς μάθησης, αλλάζοντας καθοριστικά την εξέλιξη της TN [1].

Ο όρος “Μεγάλα Δεδομένα” (ΜΔ) ή αλλιώς Big Data περιγράφει τεράστιες ποσότητες δεδομένων που δεν είναι δυνατή η αποτελεσματική επεξεργασία και ανάλυση τους με τις παραδοσιακές μεθόδους αποθήκευσης και διαχείρισης

πληροφοριών, γεγονός που οδήγησε στην ανάπτυξη καινοτόμων προγραμμάτων και τεχνικών επεξεργασίας δεδομένων, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μοντέλα μηχανικής μάθησης και προηγμένες αναλύσεις. Η καθιέρωσή του όρου αυτού χρονολογείται περίπου 30 χρόνια πίσω, με τον John Mashey να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο. Τα ΜΔ διακρίνονται από το μέγεθός τους, το οποίο υπερβαίνει κατά πολύ τα συνήθη σύνολα δεδομένων και συνήθως περιγράφονται με τα τρία V – όγκος (Volume), ποικιλία (Variety) και ταχύτητα (Velocity) – ενώ προστίθενται συχνά και άλλες διαστάσεις, όπως η ακρίβεια και η αξία. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να προέρχονται από διάφορες πηγές και διαφορετικούς τύπους πληροφοριών, δομημένες ή μη. Στον τομέα της υγείας και της ιατρικής, αναφέρονται στις τεράστιες ποσότητες πληροφοριών που παράγονται καθημερινά από τα ιατρικά αρχεία ασθενών και τα αποτελέσματα διαγνωστικών ή απεικονιστικών εξετάσεων. Η ανάλυση τους βοηθά τους ερευνητές και τους κλινικούς ιατρούς να εντοπίζουν τάσεις, να προβλέπουν αποτελέσματα και να βελτιώνουν τη ποιότητα της παρεχόμενης φροντίδας [2].

Η ΤΝ και τα ΜΔ έχουν φέρει επανάσταση στο χώρο της ιατρικής. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για τη βελτίωση της διάγνωσης, της θεραπείας και της συνολικής φροντίδας των ασθενών, μέσα από την αξιοποίηση αλγορίθμων που εκπαιδεύονται να αναγνωρίζουν πρότυπα και μοτίβα σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων, επιτρέποντας στους επαγγελματίες υγείας να διαγιγνώσκουν ασθένειες με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα.

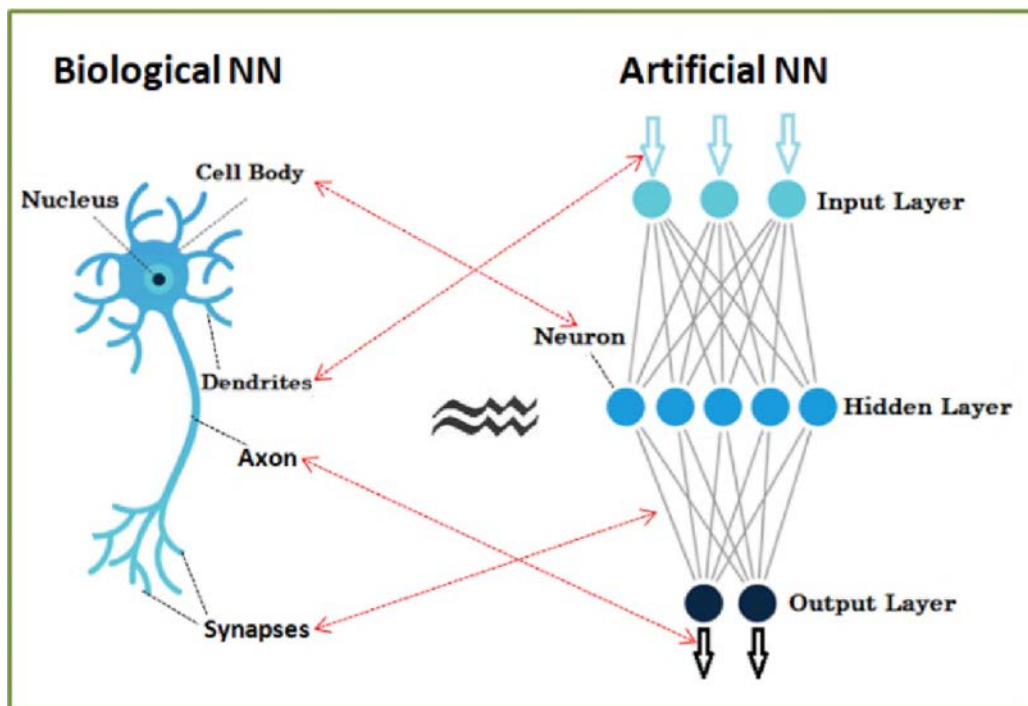
Βασικές Αρχές και Τεχνολογίες της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων που Σχετίζονται με την Υγειονομική Περίθαλψη

Η ΤΝ αποτελεί μια συλλογή από διαφορετικές τεχνολογίες που εξυπηρετούν ποικίλες λειτουργίες στον τομέα της υγείας. Παρουσιάζονται παρακάτω οι κυριότερες τεχνολογίες που έχουν ιδιαίτερη σημασία στον τομέα αυτό.

Μηχανική Μάθηση – Νευρωνικά Δίκτυα και Βαθιά Μάθηση

Η Μηχανική Μάθηση (ML - Machine Learning) είναι μια στατιστική μέθοδος που προσαρμόζει συγκεκριμένα μοντέλα σε δεδομένα, καθιστώντας δυνατή την "εκπαίδευση" αυτών των υπολογιστικών μοντέλων ώστε να "μαθαίνουν" μέσα από σύνολα δεδομένων και όχι απλά από προκαθορισμένους αλγορίθμους, με σκοπό να βελτιώνουν τις επιδόσεις τους μέσω της εμπειρίας. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα προηγμένο σύστημα ΤΝ που δίνει την δυνατότητα να γίνονται προβλέψεις πάνω σε θέματα υγείας. Στη συγκεκριμένη τεχνολογία, τα μοντέλα αυτά εκπαιδεύονται από σύνολα δεδομένων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα αποτελέσματα. Διακρίνεται σε τρεις κύριες κατηγορίες: την εποπτευόμενη μάθηση, όπου το σύστημα έχει την δυνατότητα να εκπαιδεύεται με δεδομένα συγκεκριμένων αποτελεσμάτων και να τα κατηγοριοποιεί πχ παρουσία ή απουσίας μιας νόσου, την ημι-εποπτευόμενη, όπου γίνεται συνδυασμός εκπαιδευτικών και ετικετοποιημένων δεδομένων, καθώς και τη μη εποπτευόμενη, στην οποία το σύστημα μπορεί αναγνωρίζει πρότυπα μόνο του, χωρίς υποδείξεις από το εξωτερικό περιβάλλον [3].

Τα Νευρωνικά Δίκτυα (NN - Neural Networks) αποτελούν ένα ιδιαίτερα σύνθετο μοντέλο μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στον τομέα της υγείας για την ανίχνευση ασθενειών. Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από νευρώνες (μονάδες επεξεργασίας) και από διαύλους μέσω των οποίων μεταφέρεται η πληροφορία, μνήμη ή γνώση, και αργότερα αφού διαχυθεί σε όλο το δίκτυο αποθηκεύεται στους συνδετικούς δεσμούς μεταξύ των νευρώνων αυτών. Τα δίκτυα των συνδεδεμένων "νευρώνων" οργανώνονται σε επίπεδα, που λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με τις νευρωνικές συνδέσεις του ανθρώπινου εγκεφάλου, μιμούμενα την διαδικασία με την οποία ο εγκέφαλος καταφέρει να επιλύει συγκεκριμένα προβλήματα ή να εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες. Αυτά τα επίπεδα περιλαμβάνουν το εισαγωγικό, όπου εισάγονται τα χαρακτηριστικά (π.χ. διαγνωστικά), τα ενδιάμεσα επίπεδα επεξεργασίας και ένα τελικό επίπεδο εξόδου που ταυτίζεται με το αποτέλεσμα. Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να "εκπαιδεύονται" από συγκεκριμένα σύνολα δεδομένων και να διακρίνουν επαναλαμβανόμενα πρότυπα στα δεδομένα [4].



Εικόνα 1. Νευρωνικά δίκτυα—βιολογικά και τεχνητά. Πηγή: Anton N, Doroftei B, Curteanu S, Catălin L, Ilie OD, Târcoveanu F, Bogdănic CM. "Comprehensive Review on the Use of Artificial Intelligence in Ophthalmology and Future Research Directions. Diagnostics 2023, 13, 100

Η Βαθιά Μάθηση (DL - Deep Learning) είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη προσέγγιση μηχανικής μάθησης που αποτελείται από δίκτυα πολλαπλών επιπέδων, γνωστά και ως συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNNs - Convolutional Neural Networks) [4]. Η τεχνολογία αυτή, που χρησιμοποιεί τεχνικές όπως η επαύξηση δεδομένων, επιτρέπει την ανάλυση εικόνων με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια, χρησιμοποιώντας διάφορα επίπεδα για την αναγνώριση συγκεκριμένων μοτίβων, όπως οι καρκινικές αλλοιώσεις σε ιατρικές εικόνες. Η βαθιά μάθηση είναι πολύ αποτελεσματική στην επεξεργασία δεδομένων εικόνας και έχει ευρύ πεδίο εφαρμογής στον τομέα της ραδιομικής, αφού μπορεί να εντοπίζει χαρακτηριστικά που τα “χάνει” το ανθρώπινο μάτι [3].

Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας

Η Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (NLP - Natural Language Processing) αποτελεί έναν από τους πιο εξελισσόμενους κλάδους της ΤΝ, με τις πρώτες έρευνες γύρω από αυτή να πρωτοεμφανίζονται στη δεκαετία του 1950. Ο τομέας της Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας καλύπτει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών που σχετίζονται με την ανθρώπινη γλώσσα, όπως η αναγνώριση ομιλίας, η ανάλυση κειμένων και η αυτόματη μετάφραση. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι στην Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας: η στατιστική, που βασίζεται στη μηχανική μάθηση και στα βαθιά νευρωνικά δίκτυα, και η σημασιολογική. Ειδικά στον τομέα της υγείας, η NLP έχει φέρει επανάσταση το τρόπο που αναλύονται και οργανώνονται τα δεδομένα. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας εκτείνεται από την αποτελεσματική κατηγοριοποίηση κλινικών αρχείων μέχρι την εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων από επιστημονικές μελέτες και έρευνες. Τα συστήματα της NLP έχουν την δυνατότητα επεξεργάζονται σημειώσεις από ασθενείς, να συνθέτουν και προετοιμάζουν αναφορές π.χ. απεικονιστικών εξετάσεων, και τέλος να μετατρέπουν τις συνομιλίες μεταξύ ιατρών και ασθενών σε ακριβή ιατρικά δεδομένα, συμβάλλοντας στην βελτιστοποίηση της παρεχόμενης ιατρικής φροντίδας [3].

Απλοί Αυτόματοι Ανιχνευτές

Οι Απλοί Αυτόματοι Ανιχνευτές (Simple Automated Detectors) χρησιμοποιούν αλγορίθμους που λειτουργούν με προκαθορισμένα αντικειμενικά κριτήρια για την αναγνώριση της παρουσίας ή μη χαρακτηριστικών σε ιατρικές εικόνες ή την ανίχνευση ανωμαλιών. Η είσοδος στο σύστημα βασίζεται σε συγκεκριμένους κανόνες που ορίζονται από τους δημιουργούς του και παράγει αποτελέσματα σύμφωνα με πρότυπα που έχουν προκαθοριστεί. Αυτές οι τεχνολογίες είναι αποτελεσματικές και παράλληλα απλούστερες σε σύγκριση με τις πιο προηγμένες μεθόδους μηχανικής μάθησης, καθώς δεν είναι απαραίτητη η εκπαίδευση τους με μεγάλα σύνολα δεδομένων.

Συστήματα Εμπειρογνομόνων με Κανόνες

Τα Συστήματα Εμπειρογνομόνων με Κανόνες (Rule-Based Expert Systems) έχουν ως θεμέλιο απλές λογικές σχέσεις τύπου “αν-τότε”, με σκοπό την “υποστήριξη κλινικών αποφάσεων” με βάση προκαθορισμένα σενάρια και ιατρικές συνθήκες. Τα συστήματα αυτά, που ήταν σε άνθηση την δεκαετία του 1980, από τη μία είναι σχετικά εύχρηστα και απλά στην κατανόηση, από την άλλη αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες όσο περισσότεροι είναι οι κανόνες, καταλήγοντας σε πολύπλοκα δίκτυα κανόνων που μπορούν να καταλήξουν σε αντιφάσεις και σύγχυση. Ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται από διάφορους παρόχους ηλεκτρονικών αρχείων υγείας (EHR - Providers of Electronic Health Records), ωστόσο, με τις σύγχρονες εξελίξεις, αυτά τα παραδοσιακά συστήματα έχουν αρχίσει να παραχωρούν τη θέση τους σε αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, οι οποίοι προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια στην ανάλυση δεδομένων [3].

Φυσικά Ρομπότ

Τα Φυσικά Ρομπότ (Physical robots) χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανίες και νοσοκομεία για επαναλαμβανόμενες και προκαθορισμένες εργασίες ή παράδοση προμηθειών, καθώς μπορούν να καθοδηγούνται εύκολα για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών μέσω εκπαίδευσης, όντας ολόενα και πιο έξυπνα με τη συμπερίληψη της ΤΝ στα συστήματά τους. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, χρησιμοποιούνται ρομπότ χειρουργικής, τα οποία προσφέρουν μοναδικά πλεονεκτήματα στους χειρουργούς, παρέχοντας αυξημένη ακρίβεια και ταχύτητα στις επεμβάσεις, αν και οι αποφάσεις παραμένουν υπό τον έλεγχο των χειρουργών [3].

Αυτοματισμός Διαδικασιών μέσω Ρομποτικής

Η τεχνολογία του Αυτοματισμού Διαδικασιών μέσω Ρομποτικής (Robotic Process Automation - RPA) εκτελεί δομημένες ψηφιακές εργασίες για διοικητικούς σκοπούς, όπως ενημέρωση αρχείων ασθενών ή τιμολόγηση. Σε σχέση με άλλες μορφές

TN, είναι οικονομικά πιο αποδοτική, εύκολη στον προγραμματισμό και διαφανής στις λειτουργίες της, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης πραγματικών ρομπότ παρά μόνο προγραμμάτων σε διακομιστές που λειτουργούν ως ημι-έξυπνοι χρήστες. Στον τομέα της υγείας, χρησιμοποιείται για εργασίες που επαναλαμβάνονται, όπως η έγκριση διαδικασιών, η ενημέρωση ιατρικών αρχείων και η τιμολόγηση, ενώ μπορεί να συνδυαστεί με τεχνολογίες όπως η αναγνώριση εικόνας για την εξαγωγή δεδομένων από φαξ σε συναλλακτικά συστήματα [3].

Γενικές Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Μεγάλων Δεδομένων στον Τομέα της Υγείας

Η εφαρμογή της TN και των ΜΔ στον χώρο της υγειονομικής περίθαλψης αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη απήχηση, αλλάζοντας σημαντικά το σε όλους γνωστό “παραδοσιακό” ιατρικό μοντέλο. Παρακάτω, θα αναλυθούν οι βασικοί τομείς στους οποίους έχει επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις η TN στο φάσμα της ιατρικής.

Τεχνητή Νοημοσύνη και Διάγνωση

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελεί η χρήση αλγορίθμων TN για τη διάγνωση ασθενειών μέσω ανάλυσης απεικονιστικών δεδομένων στα πλαίσια της ειδικότητας της ακτινολογίας-ακτινοδιαγνωστικής, όπως οι ακτινογραφίες, οι αξονικές και οι μαγνητικές τομογραφίες. Επιπλέον, γίνεται χρήση διαφόρων κλινικών δεδομένων μέσα από την ανάλυση εξετάσεων που περιλαμβάνουν την παθολογοανατομία, την ενδοσκόπηση και τον υπέρηχο, προσφέροντας ακριβή αποτελέσματα σε σύντομο χρονικό διάστημα, διευκολύνοντας το έργο των γιατρών αφού αυτή η διαδικασία μειώνει τον φόρτο εργασίας τους. Παράδειγμα αποτελεί μια μελέτη από τη Κίνα που χρησιμοποιώντας ένα σύστημα υποβοηθούμενης διάγνωσης

(CADx-computer-aided diagnosis) για την ταξινόμηση και αξιολόγηση καλοήθων και κακοήθων όζων του πνεύμονα, απέδειξε υψηλή ακρίβεια στην ικανότητα εντοπισμού προχωρημένων σταδίων καρκίνου πνεύμονα [5].

Μια άλλη ιατρική ειδικότητα όπου η εφαρμογή της TN διαφαίνεται πολλά υποσχόμενη, είναι αυτή της παθολογικής ανατομίας που μέσω της μελέτης ιστών και κυττάρων, προσπαθεί να εντοπίσει παθολογικές αλλαγές καταλήγοντας σε μια διάγνωση, πολλές φορές καθοριστική για τον ασθενή. Η TN, έχει εξελιχθεί προσφέροντας σημαντικές δυνατότητες στον γιατρό, με την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων από αλγόριθμους, καθιστώντας ταχύτερη τη πορεία προς την ακριβή διάγνωση. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές της TN στην παθολογική ανατομία έχουν φέρει επανάσταση στη τμηματοποίηση και ανάλυση εικόνων, την αναγνώριση καρκινικών όγκων και την εκτίμηση των μεταστατικών αλλοιώσεων. Επιλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης, όπως για παράδειγμα τα νευρωνικά δίκτυα, έχουν δείξει ότι μπορούν, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, να ξεπεράσουν ακόμα και έμπειρους παθολόγους στο κομμάτι της διάγνωσης μέσω ιστοπαθολογικής ανάλυσης για την διάκριση ανάμεσα σε καλοήθεις και κακοήθεις όγκους, καταδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνολογίας [5].

Η εφαρμογή της TN στην διαγνωστική ενδοσκόπηση, φαίνεται πολλά υποσχόμενη, καθώς προσφέρει δυνατότητες σημαντικής βελτίωσης όσον αφορά την διαγνωστική απεικόνιση, παρέχοντας υψηλή ποιότητα περίθαλψης στους ασθενείς, επιταχύνοντας την διάγνωση παθήσεων του γαστρεντερικού σωλήνα, σε σύντομο χρόνο και με υψηλή ακρίβεια. Επισημαίνεται η προαγωγή και η ενίσχυση της διαγνωστικής ικανότητας, μέσω υιοθέτησης της βαθιάς μάθησης, για την ανίχνευση αλλοιώσεων του ανώτερου γαστρεντερικού συστήματος, όπως ο οισοφάγος Barrett και ο καρκίνος του στομάχου [5].

Τέλος, η TN έχει φέρει επανάσταση στην ανίχνευση και διάγνωση νοσημάτων, τόσο μέσω υπερηχογραφίας όσο και μέσω βιοχημικών εξετάσεων. Η ενσωμάτωση των συστημάτων υποβοηθούμενης διάγνωσης (CAD - computer-aided diagnosis) στην υπερηχογραφία έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της διαγνωστικής ακρίβειας, καθώς τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται με σκοπό να παρέχουν βοήθεια στους γιατρούς, αναλύοντας ιατρικές εικόνες ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια, ελαχιστοποιώντας τη πιθανότητα ανθρώπινου λάθους. Παράδειγμα αποτελεί μια μέθοδος ανάλυσης υπερηχογραφικών εικόνων, που βελτιστοποιεί την κατηγοριοποίηση

των οξιδίων του θυρεοειδούς και ενδέχεται μελλοντικά να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση κακοήθων αλλοιώσεων και για άλλες περιοχές του ανθρώπινου σώματος. Συνολικά, έχει αναδειχθεί σημαντική η συμβολή της TN για τη πρόωμη διάγνωση, παρακολούθηση και τελική πρόγνωση κάποιων κλινικών παθήσεων, μέσω βιοχημικών εξετάσεων, όπως η οξεία μυελοειδής λευχαιμία [5].

Τεχνητή Νοημοσύνη και Θεραπεία

Η ενσωμάτωση της TN στον τομέα της χειρουργικής οδήγησε σε ριζικές αλλαγές. Πιο συγκεκριμένα, η μεγάλη αλλαγή και επανάσταση στην ειδικότητα της χειρουργικής ήρθε με την ανάπτυξη του συστήματος Da Vinci, το οποίο εγκρίθηκε από τον FDA το 2000 και σχεδιάστηκε ώστε να προσφέρει την δυνατότητα διεξαγωγής ελάχιστα επεμβατικών επεμβάσεων, με αυξημένη χειρουργική ακρίβεια, υψηλή ποιότητα απεικόνισης ανατομικών δομών καθώς και εν δυνάμει εξ αποστάσεως χειρουργική. Το σύστημα Da Vinci έχει συνδέσει το όνομα του με πληθώρα μελετών που τονίζουν τα θετικά αποτελέσματα των χειρουργικών επεμβάσεων κυρίως στη χειρουργική θυρεοειδούς, γνάθου, στομάχου, νεφρών και προστάτη σχετικά με τα θεραπευτικά αποτελέσματα, τις λιγότερες επιπλοκές και τον μειωμένο χρόνο ανάρρωσης των ασθενών [5].

Επιπλέον, ένα από τα πιο πρωτοποριακά επιτεύγματα της TN στον τομέα της χειρουργικής είναι η εφαρμογή αλγορίθμων βαθιάς μάθησης με σκοπό την λεπτομερή απεικόνιση και ανάλυση ιστών εν μέσω της επέμβασης, προσφέροντας αυξημένη ακρίβεια στο σχεδιασμό αυτής και την δυνατότητα διενέργειας real-time βιοψίας, αντικαθιστώντας τη συμβατική βιοψία. Ωστόσο, ο δρόμος προς την πλήρη χειρουργική αυτονομία είναι ακόμα μακρύς αλλά φαίνεται πολύ ελπιδοφόρος.

Τέλος, η TN έχει αποκτήσει ένα κεντρικό ρόλο στην υγειονομική περίθαλψη του σήμερα, βελτιώνοντας τα χειρουργικά αποτελέσματα, με χαρακτηριστικά παραδείγματα την χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3DP-Three-dimensional Printing) στα πλαίσια προσεκτικού σχεδιασμού χειρουργικών επεμβάσεων μέσα από δεδομένα αξονικής ή μαγνητικής τομογραφίας και την εφαρμογή εικονικής (VR-Virtual Reality), επανυξημένης (AR-Augmented Reality) και μικτής πραγματικότητας (MR-Mixed

Reality) με σκοπό την χειρουργική καθοδήγηση του χειρουργού σε πραγματικό χρόνο [5].

Τεχνητή Νοημοσύνη και Παρασκευή Φαρμάκων

Ένας ακόμα τομέας που έχει μεταμορφωθεί μέσω της ραγδαίας εξέλιξης της ΤΝ αποτελεί αυτός της φαρμακοβιομηχανίας, καθώς έχει συμβάλει καθοριστικά στην ανακάλυψη και την ανάπτυξη καινούργιων, υψηλής ποιότητας φαρμακευτικών προϊόντων.

Πιο συγκεκριμένα, η ΤΝ μέσω μοντέλων πρόβλεψης έχει βελτιστοποιήσει τις βασικές διαδικασίες ανάπτυξης φαρμάκων και εμβολίων, βοηθώντας στον σχεδιασμό αυτών, επιταχύνοντας τις κλινικές δοκιμές και μειώνοντας το κόστος παραγωγής. Η εφαρμογή τεχνολογιών όπως η βαθιά μάθηση, έχει οδηγήσει στην ανακάλυψη φαρμάκων με τρόπο πιο ακριβή και με καλύτερα θεραπευτικά αποτελέσματα. Τέλος, η τρισδιάστατη εκτύπωση που αναφέρθηκε παραπάνω συνεισφέρει στην παρασκευή φαρμάκων, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή των φαρμακευτικών προϊόντων σχετικά με το μέγεθος, το σχήμα και τη σύνθεση αυτών με στόχο καλύτερα θεραπευτικά αποτελέσματα [5].

Τεχνητή Νοημοσύνη, Διοίκηση υγειονομικής περίθαλψης και Ιατρική Εκπαίδευση

Η ΤΝ έχει φέρει πολύ σημαντικές αλλαγές τόσο στην διαχείριση και διοίκηση της υγειονομικής περίθαλψης όσο και στην ιατρική εκπαίδευση. Όπως είναι γνωστό, οι αποφάσεις που σχετίζονται με την διοίκηση και διαχείριση μιας υγειονομικής μονάδας πολλές φορές καταλήγουν σε άνιση και αναποτελεσματική κατανομή πόρων.

Η ενσωμάτωση της ΤΝ έχει επιτρέψει την ακριβή πρόβλεψη του χρόνου αναμονής στα επείγοντα μέσω προηγμένων νευρωνικών δικτύων Long Short-Term Memory (LSTM), βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα του προσωπικού υγείας και την εμπειρία των ασθενών. Επιπλέον, οι σχετικοί αλγόριθμοι συμβάλλουν στην μείωση του χρόνου νοσηλείας και καλύτερη αξιοποίηση νοσοκομειακών κλινών και πόρων. Στον τομέα της εκπαίδευσης, η ΤΝ έχει εμπλουτίσει τις μεθόδους μάθησης προσφέροντας νέες δυνατότητες στους φοιτητές ιατρικής. Η παραδοσιακή μελέτη μέσω βιβλίων δεν αρκεί για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις της σύγχρονης ιατρικής

εκπαίδευσης λόγω του τεράστιου όγκου πληροφοριών. Με τη βοήθεια της TN, η εκμάθηση έχει γίνει περισσότερο διαδραστική, γεγονός που βελτιώνει την κατανόηση κλινικών περιστατικών, ενώ οι προσομοιώσεις χειρουργικών τεχνικών αυξάνουν την αυτοπεποίθηση και τις δεξιότητες των φοιτητών [5]. Τέλος, νεότερες τεχνολογίες όπως αυτές της τρισδιάστατης εκτύπωσης και μικτής πραγματικότητας παρέχουν νέες ευκαιρίες και δυνατότητες πρακτικής εκμάθησης και κατανόησης της ανατομίας και την εξάσκηση σε χειρουργικές τεχνικές, ενισχύοντας τη συνολική εκπαιδευτική τους εμπειρία.

Ιατρική Ηθική

Αρχές Ιατρικής Ηθικής

Η ιατρική ηθική αποτελεί ένα απαραίτητο στοιχείο για την εξασφάλιση της παροχής της υγειονομικής περίθαλψης στο κοινωνικό σύνολο με απόλυτο σεβασμό προς τον ασθενή, προάγοντας την ευημερία του και χτίζοντας μια σχέση εμπιστοσύνης, χωρίς να περιορίζεται μόνο στην επιλογή της κατάλληλης θεραπευτικής διαδικασίας [6]. Ο ιατρός έχει ηθική υποχρέωση να δρά πάντα υπό τις τέσσερις θεμελιώδεις αρχές της ιατρικής ηθικής, όπως αυτές προτάθηκαν από τους φιλοσόφους Beauchamp και Childress και περιλαμβάνουν τον σεβασμό της αυτονομίας, την αγαθοεργία, το μη βλάπτειν και την δικαιοσύνη [7].

Ο σεβασμός της αυτονομίας αναφέρεται στην υποχρέωση των γιατρών να σεβαστούν την δυνατότητα των ασθενών να σκέφτονται, να ενεργούν ελεύθερα [8], και να παίρνουν μέρος στις κλινικές αποφάσεις που αφορούν την υγειονομική τους φροντίδα. Η αυτονομία των ασθενών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ενήμερη συναίνεση, που ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία ο ασθενής που προτείνεται να υποβληθεί σε κάποια ιατρική πράξη ανεξαρτήτως αν είναι χειρουργική ή μη, λαμβάνει πλήρη ενημέρωση σχετικά με την διαδικασία αυτή. Προϋπόθεση αποτελεί ότι ο ασθενής είναι ικανός να κατανοεί και λαμβάνει αποφάσεις για τον εαυτό του, να ενεργεί χωρίς περιορισμούς, να κατανοεί πλήρως όλες τις πληροφορίες που του

μεταφέρθηκαν κατά την ενημέρωση και τελικά να συναινεί στη προτεινόμενη διαδικασία [9].

Η αρχή της αγαθοεργίας επιβάλλει στον γιατρό την ηθική υποχρέωση να ενεργεί αυστηρά προς όφελος του ασθενούς, πράττοντας μόνο το καλό για αυτόν και υποστηρίζοντας διάφορους κανόνες που προστατεύουν και υπερασπίζονται τα νομικά δικαιώματα του, χωρίς όμως να βρίσκεται σε κίνδυνο η δική του ασφάλεια [7]. Στα πλαίσια της υγειονομικής περίθαλψης, η συγκεκριμένη αρχή απαιτεί από τους γιατρούς πέρα από το να παρέχουν βοήθεια προς όφελος των ασθενών και να αποτρέπουν πιθανές βλάβες στην υγεία τους. Σύμφωνα με την αρχή της αγαθοεργίας, δεν αρκεί μόνο η αποφυγή της βλάβης, αλλά και η ταυτόχρονη προαγωγή της υγείας και ευημερίας τους ασθενή [9], η οποία αντίκειται στη ρήση που εμπεριέχεται στον Όρκο του Ιπποκράτη ως «ωφελείν ή μη βλάπτειν».

Η αρχή του μη βλάπτειν χαρακτηρίζεται ως θεμελιώδης σύμφωνα με την ιατρική ηθική, επιβάλλοντας στον εκάστοτε ιατρό την υποχρέωση να μην προβαίνει σε ενέργειες ή παραλείψεις που μπορεί να αποβούν επιβλαβείς για την σωματική, ψυχική ή ακόμα και κοινωνική υγεία του ασθενή. Πιο συγκεκριμένα, η αρχή του μη βλάπτειν συνδυάζει την αποφυγή τόσο ενεργειών που είναι άμεσα ή έμμεσα επικίνδυνες για τον ασθενή όσο και καταστάσεων που μπορεί να γίνουν δυνητικά επιβλαβείς. Οι κανόνες που συνοδεύουν αυτή την αρχή απαιτούν ο ιατρός να μην προκαλεί θάνατο, πόνο ή ψυχική ταλαιπωρία, καθώς και να μην παραβλέπει την ικανοποίηση των αναγκών του ασθενούς, υποβαθμίζοντας την ποιότητα ζωής του [7]. Η αρχή αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη πρακτική λήψης κλινικών αποφάσεων, όπου ο ιατρός πρέπει να συγκρίνει προσεκτικά τα πιθανά οφέλη και τους κινδύνους κάθε θεραπευτικής πράξης, και σε περίπτωση που κάποιες από αυτές θεωρηθούν μη αναγκαίες ή με αυξημένο κίνδυνο σοβαρών παρενεργειών καλείται να τις αποφύγει. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η διακοπή θεραπειών που υποστηρίζουν τη ζωή όπως και η χρήση οπιοειδών, που από τη μια ανακουφίζουν τον πόνο αλλά από την άλλη μπορεί να προκαλέσουν ανεπιθύμητες παρενέργειες [9]. Είναι σημαντικό να υπογραμμισθεί ότι η μη συμμόρφωση των ιατρών με τη θεμελιώδη αυτή αρχή, πέρα από το ότι θεωρείται ανήθικη, χαρακτηρίζεται από νομική άποψη ως ιατρική αμέλεια ή κακή πρακτική, επιφέροντας δυνητικά νομικές συνέπειες σε περιπτώσεις που προκληθεί βλάβη στον ασθενή [7].

Η αρχή της δικαιοσύνης είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ιατρικής ηθικής και συνδέεται με την ίση κατανομή των πόρων και υπηρεσιών στα πλαίσια της υγειονομικής περίθαλψης καθώς και την δίκαιη μεταχείριση των ασθενών ανεξαρτήτως της κοινωνικοοικονομικής τους κατάστασης. Η δικαιοσύνη γενικά ορίζεται ως η δίκαιη και ίση μεταχείριση των ανθρώπων και αποτελείται από διάφορες υποκατηγορίες. Η διανεμητική δικαιοσύνη είναι αυτή που μας απασχολεί στα πλαίσια της ιατρικής ηθικής, καθώς συνδέεται με τη κατανομή πόρων και υπηρεσιών στην υγειονομική περίθαλψη. Ιδιαίτερη σημασία έχουν, στα πλαίσια της καθημερινής κλινικής πρακτικής, τα προβλήματα που ανακύπτουν από τη κατανομή για παράδειγμα περιορισμένων διαθέσιμων πόρων όπως φάρμακα, η φροντίδα ασθενών χωρίς ασφάλιση, όπως και καταστάσεις όπου υπάρχουν συγκρούσεις συμφερόντων, για παράδειγμα όταν η επιλογή θεραπείας επηρεάζεται από προσωπικά οφέλη για τον γιατρό [9]. Το δικαίωμα στην υγεία είναι βασικό για την ευημερία του ατόμου, εξασφαλίζοντας πρόσβαση σε υγειονομική περίθαλψη και προστασία από κινδύνους. Η Παγκόσμια Διακήρυξη για τα Ανθρώπινα Δικαιώματα το καθορίζει ως αναφαίρετο, τονίζοντας την ευθύνη των κρατών να προάγουν την ευημερία του κοινωνικού συνόλου χωρίς διακρίσεις.

Τέλος, οι Beauchamp και Childress στο έργο τους "Principles of Biomedical Ethics" αναφέρουν ότι πέρα από τις 4 θεμελιώδεις αρχές της ιατρικής ηθικής που αναφέρθηκαν πιο πάνω, εξίσου αξιοσημείωτες είναι η υποχρέωση ενημέρωσης των ασθενών, η προστασία της ιδιωτικότητας και η διασφάλιση του ιατρικού απορρήτου, που θεωρούνται παράγωγα των πρώτων.

Ηθικές Προκλήσεις στην Υγειονομική Περίθαλψη

Η σύγχρονη τεχνολογική πρόοδος, όπως για παράδειγμα η είσοδος της TN στην ιατρική, σε συνάρτηση με τη παγκόσμια κοινωνική εξέλιξη οδήγησε σε ριζικές μεταβολές και προκλήσεις στην υγειονομική περίθαλψη που καλούνται να απαντηθούν υπό το πρίσμα της ηθικής [6]. Αυτά τα ζητήματα βρίσκονται στο επίκεντρο όλων των ιατρικών και βιοηθικών συζητήσεων και επιβάλλουν λεπτομερή ανάλυση και προσέγγιση. Ωστόσο, δεν κρίνεται σκόπιμο να επεκταθούμε σε περαιτέρω ανάλυση αυτών των ζητημάτων, καθώς κάτι τέτοιο θα μας απομάκρυνε από τον κύριο στόχο της εργασίας. Οι ηθικές προκλήσεις που σχετίζονται άμεσα με τη χρήση της τεχνολογίας, κυρίως της TN και των ΜΔ, θα εξεταστούν αναλυτικότερα στο ειδικό μέρος.

Συνοπτικά στη σύγχρονη ιατρική, διάφοροι τομείς που σχετίζονται με τις κυριότερες ηθικές προκλήσεις αποτελούν οι εξής :

- Επίσημοι κώδικες της ιατρικής πρακτικής
- Σχέση γιατρού-ασθενούς
- Ευθανασία και παρηγορητική φροντίδα
- Αναπαραγωγική ιατρική
- Γενετική (κλωνοποίηση, γενετική τροποποίηση)
- Βιοϊατρική έρευνα - Κλινικές δοκιμές
- Ψυχιατρική
- Ιδιωτικότητα ασθενών
- Πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη
- Συγκρούσεις συμφερόντων
- Ιατρική αμέλεια και αμυντική ιατρική
- Ηθικά διλήμματα σχετικά με τις μεταμοσχεύσεις
- Τεχνολογία και τεχνητή νοημοσύνη

Οφθαλμολογία και Τεχνολογικές Εξελίξεις

Η οφθαλμολογία, αποτελεί τον κλάδο της ιατρικής επιστήμης που μελετά την ανατομία και την φυσιολογία των οφθαλμών και του οπτικού συστήματος και εστιάζει στις παθήσεις που πλήττουν τη φυσιολογική λειτουργία τους, έχοντας παρουσιάσει αξιοσημείωτες εξελίξεις στο πέρασμα των αιώνων. Από τις πρώτες προσπάθειες θεραπείας με την χρήση αρχαίων τεχνικών, βασισμένων σε φάρμακα και φυτικά προϊόντα έως τις σύγχρονες επεμβάσεις με υπερήχους και λέιζερ, η οφθαλμολογία έχει μεταμορφωθεί τις τελευταίες δεκαετίες, ιδίως μέσα από την πρόοδο της τεχνολογίας και την εισαγωγή καινοτόμων εργαλείων. Η οφθαλμολογία έχει αναχθεί σε μια από τις πιο

πρωτοποριακές και σύγχρονες ειδικότητες της ιατρικής, εκμεταλλευόμενη τις σύγχρονες τεχνολογικές και επιστημονικές ανακαλύψεις που περιλαμβάνουν τις απεικονιστικές τεχνικές, χειρουργικές επεμβάσεις και τον “νέο” ρόλο της TN και των ΜΔ, παρέχοντας την καλύτερη δυνατή οφθαλμολογική περίθαλψη στους ασθενείς. Στη σύγχρονη εποχή του τεχνολογικού θαύματος, οι οφθαλμίατροι έχουν στη φαρέτρα τους εργαλεία και τεχνικές που τους επιτρέπουν να διαγιγνώσκουν και να θεραπεύουν οφθαλμολογικές παθήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα, προσφέροντας οφθαλμολογικές υπηρεσίες με υψηλά πρότυπα ποιότητας.

Ιστορική Εξέλιξη της οφθαλμολογίας

Οι πρώτες αναφορές για τη θεραπεία οφθαλμικών παθήσεων χρονολογούνται από την αρχαία Αίγυπτο και την Ελλάδα, ωστόσο η οφθαλμολογία αναγνωρίστηκε ως ξεχωριστή ιατρική ειδικότητα μόλις πριν από δύο αιώνες. Η οφθαλμολογία κατά τη διάρκεια του 19ου και του 20ού αιώνα σημείωσε ταχεία εξέλιξη, διαμορφώνοντας ριζικά το μέλλον της οφθαλμολογικής περίθαλψης [10].

Ο οφθαλμίατρος Georg Joseph Beer, ιδρυτής του πρώτου τμήματος οφθαλμολογίας στο πανεπιστήμιο της Βιέννης το 1812, έθεσε τα θεμέλια για τη καθιέρωση της οφθαλμολογίας ως ξεχωριστή ιατρική ειδικότητα της ειδικότητας, εισάγοντας ταυτόχρονα νέες μεθόδους χειρουργικής καταρράκτη [11]. Το 1805, ιδρύθηκε το Moorfields Eye Hospital στο Λονδίνο, το πρώτο νοσοκομείο αποκλειστικά για την θεραπεία οφθαλμικών παθήσεων. Το 1851, η εφεύρεση του άμεσου οφθαλμοσκοπίου από τον γερμανό Hermann von Helmholtz έφερε την επανάσταση στη διάγνωση των οφθαλμικών παθήσεων, δίνοντας τη δυνατότητα εξέτασης του οπισθίου ημιμορίου του οφθαλμού.

Στον 20ο αιώνα, και πιο συγκεκριμένα το 1911, αναπτύχθηκε η σχισμοειδής λυχνία από τον σουηδό Allvar Gullstrand, προσφέροντας για πρώτη φορά ακρίβεια και λεπτομέρεια στον τρόπο εξέτασης του οφθαλμού, αποτελώντας και τον μοναδικό οφθαλμίατρο που έλαβε βραβείο Νόμπελ Ιατρικής [12].

Σημαντικές εξελίξεις παρουσιάστηκαν στη χειρουργική του αμφιβληστροειδούς και του καταρράκτη, χάρη στον ελβετό Jules Gonin που εισήγαγε νέες τεχνικές αποκόλλησης και τον γερμανό Gerhard Meyer-Schwickerath που εισήγαγε την μέθοδο της

φωτοπηξίας με λέιζερ το 1946. Η χειρουργική του καταρράκτη παρουσίασε ραγδαία εξέλιξη χάρη στις καινοτόμες ιδέες των άγγλων Sir Harold Ridley και Charles Kelman, που κατάφεραν την πρώτη εμφύτευση ενδοφθάλμιου φακού το 1949 και την εισαγωγή της φακοθρυψίας το 1967 [13].

Τεχνολογικές Καινοτομίες στην Οφθαλμολογία

Η εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών, η τηλεϊατρική και η ΤΝ, αποτελούν μια νέα διάσταση στην ειδικότητα της οφθαλμολογίας κυρίως από την περίοδο της πανδημίας COVID-19 και έπειτα. Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT-Internet of things), τα οποία καταφέρνουν να δημιουργήσουν ένα αποτελεσματικότερο σύστημα οφθαλμολογικής περίθαλψης. Μέσα από αυτές τις καινοτομίες, παθήσεις όπως η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, η αμφιβληστροειδοπάθεια των πρόωρων νεογνών, η ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας και το γλαύκωμα μπορούν να παρακολουθούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Οι νέες εξελίξεις στον τομέα της ΤΝ και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων αναμένεται να φέρουν ριζικές αλλαγές στην παροχή οφθαλμολογικής φροντίδας παγκοσμίως [14].

Η πρόοδος στις τεχνολογίες απεικόνισης και οι καινοτομίες στη χειρουργική έχουν αναδιαμορφώσει ριζικά την πρακτική της οφθαλμολογίας, βελτιώνοντας τόσο τη διάγνωση όσο και τη θεραπεία των οφθαλμικών νοσημάτων. Ένα από τα πιο εντυπωσιακά και χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της τεχνολογικής προόδου είναι η Οπτική Τομογραφία Συνοχής (OCT- Optical coherence tomography), μια μέθοδος απεικόνισης που προσφέρει ακριβείς και λεπτομερείς απεικονίσεις των διαφόρων στρωμάτων του αμφιβληστροειδούς και του χοριοειδούς. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να αποκαλύψει ακόμα και τις πιο μικρές, κλινικά μη εμφανείς αλλοιώσεις, παρέχοντας σημαντική υποστήριξη στην διάγνωση παθήσεων όπως το γλαύκωμα και η ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας. Η OCT συμβάλλει επιπλέον στην έγκαιρη διάγνωση, επιτρέποντας την παρακολούθηση των ασθενών με μεγαλύτερη ακρίβεια, γεγονός που οδηγεί σε βελτιστοποίηση των θεραπευτικών αποτελεσμάτων.

Επιπρόσθετα, οι σύγχρονες βελτιώσεις και εξελίξεις αυτού του συστήματος απεικόνισης όπως η ευρυγώνια OCT και η OCT προσαρμοστικής οπτικής, προσφέρουν

ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στις απεικονίσεις, κάνοντας την τεχνολογία αυτή αναμφισβήτητα πολύ χρήσιμη στην κλινική πρακτική. Με αυτά τα νέα εργαλεία, οι γιατροί μπορούν να διαγνώσουν και να θεραπεύσουν αποτελεσματικότερα παθήσεις όπως η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια και η εκφύλιση της ωχράς κηλίδας [15].

Είναι γεγονός ότι η σύγχρονη οφθαλμολογία εξελίσσεται συνεχώς χάρη στις τεχνολογικές καινοτομίες, που προάγουν τόσο την ακριβή διάγνωση και όσο και αποτελεσματική θεραπεία των οφθαλμικών παθήσεων. Οι τεχνικές όπως οι ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές μέθοδοι και οι βιοτεχνολογικές εφαρμογές προσφέρουν μια γεμάτη ελπίδες προοπτική για το μέλλον της οφθαλμολογίας, εξασφαλίζοντας καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για τους οφθαλμολογικούς ασθενείς,

Σκοπός

Το κύριο ερευνητικό πρόβλημα που εξετάζεται είναι η ανάλυση των ηθικών προκλήσεων και διλημμάτων που ανακύπτουν από τη χρήση της ΤΝ και των ΜΔ στην οφθαλμολογία, με ιδιαίτερη έμφαση σε προτάσεις και πιθανές λύσεις που προτείνονται στην επιστημονική κοινότητα σχετικά με τη διαχείριση της τεχνολογίας με τρόπο ηθικό, διασφαλίζοντας την διαφάνεια, την ασφάλεια και την αξιοπιστία των ιατρικών πράξεων. Το κεντρικό ερώτημα που διερευνάται είναι ο τρόπος με τον οποίο μπορούν οι επαγγελματίες υγείας και οι αρμόδιοι φορείς να υιοθετήσουν στρατηγικές για να ενσωματώσουν με υπευθυνότητα τις τεχνολογίες αυτές στην ιατρική πρακτική του σήμερα.

Ο σκοπός της μελέτης είναι να αναλύσει τις ηθικές προκλήσεις που προκύπτουν από τη χρήση της ΤΝ και των ΜΔ στην ειδικότητα της οφθαλμολογίας εστιάζοντας σε κρίσιμα ερωτήματα όπως η προστασία της ιδιωτικότητας, η πρόσβαση σε τεχνολογίες και η υπευθυνότητα στη λήψη αποφάσεων, εξετάζοντας τις πιθανές επιπτώσεις τους στην καθημερινή ιατρική πρακτική. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αυτή επιδιώκει να απαντήσει στα παρακάτω ερωτήματα:

1. Ποιες είναι οι βασικές ηθικές ανησυχίες και προβληματισμοί που προκύπτουν από τη χρήση της ΤΝ και των ΜΔ;
2. Πώς επηρεάζει η χρήση της ΤΝ την αυτονομία και το ρόλο του ιατρού καθώς και την ασφάλεια των ασθενών;
3. Ποια μέτρα μπορούν να ληφθούν για να διασφαλιστεί η ηθική χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών στην ιατρική;

Η ανάλυση αυτών των ερωτημάτων θα βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ασφαλή, ηθικά σωστή και αποτελεσματική ενσωμάτωση της ΤΝ στην κλινική πρακτική της οφθαλμολογίας.

Μεθοδολογία

Τύπος Έρευνας

Πρόκειται για βιβλιογραφική ανασκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας.

Πηγές Δεδομένων

Πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων PubMed και Cochrane Library, επικεντρωμένη σε άρθρα που σχετίζονται με την ΤΝ και τα ΜΔ στην οφθαλμολογία και τις ηθικές προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή αυτών. Η αναζήτηση περιελάμβανε συνδυασμούς λέξεων-κλειδιών και Boolean τελεστών, όπως ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural networks" OR "big data" OR "data science") AND "ophthalmology" AND ("ethics" OR "ethical implications" OR "moral considerations" OR "bioethics" OR "medical ethics" OR "clinical ethics" OR "legal implications" OR "privacy" OR "data protection" OR "accountability" OR "discrimination" OR "transparency" OR "fairness" OR "trust" OR "application"). Επιπλέον, μελετήθηκαν βιβλιογραφικές παραπομπές από επιλεγμένα άρθρα για ενίσχυση των αποτελεσμάτων με δευτερογενείς πηγές. Τέλος, αντλήθηκαν πληροφορίες από τη λεγόμενη «γκρίζα βιβλιογραφία», όπως το American Academy of Ophthalmology, για την ενίσχυση της βιβλιογραφικής βάσης.

Κριτήρια Ένταξης/Αποκλεισμού Άρθρων

Η ανασκόπηση περιέλαβε επιστημονικά άρθρα στα αγγλικά, δημοσιευμένα από το 2014 έως το 2024, τα οποία αναφέρονται στη ΤΝ και τα ΜΔ στην οφθαλμολογία υπό το πρίσμα της ηθικής. Οι μελέτες περιορίστηκαν σε Μετα-αναλύσεις, Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Ανασκοπήσεις. Άρθρα που εστιάζουν αποκλειστικά σε παιδιατρικούς ασθενείς, καθώς και μελέτες περιπτώσεων και αναφορές περιστατικών, αποκλείστηκαν από την ανάλυση.

Στρατηγική Αναζήτησης

Η αναζήτηση ξεκίνησε με την ανάκτηση όλων των σχετικών άρθρων από τις επιλεγμένες βάσεις δεδομένων που αναφέρθηκαν. Στη συνέχεια, αποκλείστηκαν άρθρα που δεν πληρούσαν τα κριτήρια επιλογής, βασισμένα στον τίτλο και την περίληψη.

Επιλογή Δεδομένων

Συνολικά εντοπίστηκαν 388 άρθρα. Από αυτά, 29 επιλέχθηκαν ως πρωτογενείς πηγές που πληρούσαν πλήρως τα κριτήρια ανασκόπησης, ενώ προστέθηκαν 17 επιπλέον ως δευτερογενείς πηγές μέσω αναφορών. Τελικός αριθμός πηγών: 46.

Δυσκολίες Ανασκόπησης

Ο περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων μελετών ανασκόπησης που να εστιάζει αποκλειστικά στις ηθικές προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή της ΤΝ στην οφθαλμολογία.

Αποτελέσματα

Η Εφαρμογή της ΑΙ και των Μεγάλων Δεδομένων στην Οφθαλμολογία

Συγκεκριμένες Εφαρμογές στην Οφθαλμολογία

Η ενσωμάτωση συστημάτων που χρησιμοποιούν την ΤΝ στην κλινική πρακτική της οφθαλμολογίας έχει φέρει αναμφισβήτητα επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να διαγνωστούν κάποιες κλινικές οντότητες, να παρακολουθηθούν στον χρόνο και σε πολλές περιπτώσεις ακόμα και να θεραπευτούν. Αυτό πέρα από το ότι βοηθάει

το προσωπικό να είναι περισσότερο παραγωγικό στην εργασία του, διευκολύνει τη λήψη κλινικών αποφάσεων και γεφυρώνει τα χάσματα επικοινωνίας με τον εκάστοτε ασθενή βελτιώνοντας την ποιότητας της οφθαλμολογικής φροντίδας [16].

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν διάφορες πλατφόρμες που βασίζονται στην ΤΝ που επιτρέπουν την αυτόματη ανάλυση οφθαλμολογικών εικόνων με σκοπό την ανίχνευση, διάγνωση, παρακολούθηση και θεραπεία ποικίλων οφθαλμολογικών νοσημάτων. Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ωστόσο, ότι αρκετές από αυτές τις πλατφόρμες βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο και απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση ώστε να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με την πλήρη ενσωμάτωση τους στην κλινική πρακτική [17].

Στην βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί ποικίλοι αλγόριθμοι ΤΝ που χρησιμοποιούνται στην κλινική πρακτική της οφθαλμολογίας για νοσήματα, όπως το γλαύκωμα, η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, η ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας, η αμφιβληστροειδοπάθεια της προωρότητας, οι αγγειακές αποφράξεις του αμφιβληστροειδούς, ο κερατόκωνος, ο καταρράκτης, τα διαθλαστικά σφάλματα, η αποκόλληση του αμφιβληστροειδούς, ο στραβισμός και οι οφθαλμικοί καρκίνοι.

Έχει αποδειχθεί επιπλέον χρήσιμη για τον υπολογισμό της ισχύος του ενδοφακού, τον προγραμματισμό χειρουργικών επεμβάσεων στραβισμού και το προγραμματισμό ενδοϋαλοειδικών ενέσεων κατά του αγγειακού ενδοθηλιακού αυξητικού παράγοντα. Τέλος, τα υπολογιστικά συστήματα ΤΝ δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού και επιλογής του κατάλληλου ενδοφακού σε διαθλαστικά χειρουργεία, ενώ τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τη χρήση απεικονιστικών μεθόδων βυθού για τη δυνατότητα ανίχνευσης νοσημάτων όπως η άνοια, η νόσος Αλτσχάιμερ και τα εγκεφαλικά συμβάματα [18].

Διάγνωση γλαυκώματος:

Μία από τις σημαντικότερες αιτίες μη αναστρέψιμης τύφλωσης παγκοσμίως είναι το γλαύκωμα και με βάση πολλαπλές επιδημιολογικές μελέτες φαίνεται πως ο αριθμός των περιστατικών αυτών ολοένα και μεγαλώνει. Η έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία κρίνεται υψίστης σημασίας καθώς το γλαύκωμα είναι από τα νοσήματα που μπορεί να προληφθούν.

Για την έγκαιρη διάγνωση του γλαυκώματος, είναι ζωτικής σημασίας η αξιολόγηση της κεφαλής του οπτικού νεύρου (ONH) και του οπτικού δίσκου. Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί διάφορα προγράμματα βαθιάς μάθησης και πιο συγκεκριμένα διάγνωσης με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) στα οποία η αξιολόγηση του οπτικού νεύρου γίνεται μέσω ανάλυσης ιατρικών εικόνων. Τα προγράμματα αυτά βασίζονται σε διαγνωστικά χαρακτηριστικά που αξιολογούνται συνήθως από έναν άνθρωπο εμπειρογνώμονα συμπεριλαμβανομένων των ευρημάτων της OCT, της περιμετρίας, των μετρήσεων της ενδοφθάλμιας πίεσης και του πάχους του κερατοειδούς. Επιπλέον, υπάρχουν συστήματα που αναλύουν δεδομένα σχετικά με τη περιμετρία και την OCT στοχεύοντας στην ανίχνευση πρώιμων βλαβών γλαυκώματος και της εκτίμησης της ταχύτητας εξέλιξης της νόσου. Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα σημαντικό εργαλείο για τη λήψη κλινικών αποφάσεων, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα της παροχής φροντίδας σε γλαυκωματικούς ασθενείς [19].

Νοσήματα αμφιβληστροειδούς:

Η TN έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη για τη διάγνωση και παρακολούθηση πληθώρας παθήσεων του αμφιβληστροειδούς, όπως η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια (DR), η αμφιβληστροειδοπάθεια της προωρότητας (ROP) και η ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας (AMD). Το IDx-DR ήταν το πρώτο σύστημα TN που έγινε δεκτό από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών (FDA - Food and Drug Administration) για τη διάγνωση της διαβητικής αμφιβληστροειδοπάθειας, ενώ αργότερα εμφανίστηκαν στο προσκήνιο και άλλα προγράμματα όπως το EyeArt και το AEYE-DS. Είναι αποδεδειγμένο μέσα από μελέτες, ότι όλα αυτά τα συστήματα TN έχουν υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα όσον αφορά τη διάγνωση της διαβητικής αμφιβληστροειδοπάθειας. Νεότερα συστήματα έχουν τη δυνατότητα μέχρι και κατηγοριοποίησης των ασθενών με βάση την σοβαρότητα της νόσου και την ύπαρξη κλινικά σημαντικού οιδήματος της ωχράς κηλίδας [20].

Όσον αφορά την αμφιβληστροειδοπάθεια της προωρότητας (ROP - Retinopathy of Prematurity), νόσο που επηρεάζει τα αγγεία του αμφιβληστροειδούς στους

οφθαλμούς πρόωρων νεογνών, έχουν αναπτυχθεί συστήματα όπως το i-ROP DL, τα οποία καταφέρνουν να αναγνωρίσουν χαρακτηριστικά σημεία όπως η “νόσος plus”, προχωρημένη μορφή της πάθησης, η οποία χαρακτηρίζεται από διαστολή και ελικοειδή μορφολογία των αγγείων στον αμφιβληστροειδή. Οι επιδόσεις αυτές είναι συγκρίσιμες ή και κατά περιπτώσεις καλύτερες από αυτές των κλινικών ιατρών [21].

Τέλος, στην ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας (AMD - Age-related Macular Degeneration), οι αλγόριθμοι TN έχουν χρησιμοποιηθεί σε εικόνες βυθού και στην OCT για την ανίχνευση της νόσου και κυρίως για τη διάκριση μεταξύ εξιδρωματικού και μη εξιδρωματικού τύπου της νόσου. Η TN, κυρίως μέσω της βαθιάς μάθησης, έχει δείξει διαγνωστική ακρίβεια που συγκρίνεται με αυτή των κλινικών ιατρών.

Οφθαλμολογική Ογκολογία

Στην οφθαλμολογική ογκολογία τα προγράμματα TN και μηχανικής μάθησης έχουν εφαρμοστεί ποικιλοτρόπως, παρέχοντας ένα σημαντικό όπλο στη φαρέτρα του κλινικού ιατρού τόσο σχετικά με τη θεραπεία των ογκολογικών παθήσεων αλλά την δυνατότητα να προβλέπει την εξέλιξη τους. Πιο συγκεκριμένα, έχει αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης, ο οποίος μιμούμενος το μοντέλο δέντρου αποφάσεων, καταφέρνει να εκτιμήσει την μετεγχειρητική εξέλιξη της αποκατάστασης και της ανακατασκευής της περιοχής πέριξ των βλεφάρων, σε περιστατικά βασικοκυτταρικού καρκινώματος, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες στους εκάστοτε οφθαλμοπλαστικούς χειρουργούς [18].

Επιπλέον, έχουν δημιουργηθεί συστήματα μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούν τεχνητά νευρωνικά δίκτυα τα οποία δίνουν τη δυνατότητα στους κλινικούς ιατρούς να παρέχουν τη πρόγνωση του χοριοειδικού μελανώματος, μέσω ανάλυσης δεδομένων που αφορούν το ογκολογικό ιστορικό και πληροφορίες σχετικά με την ηλικία, το φύλο και άλλα κοινωνικά και πληθυσμιακά στοιχεία των ασθενών [22].

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές μηχανικής μάθησης με σκοπό την ανάπτυξη ενός πολυφασματικού συστήματος απεικόνισης που βοηθά στην ανίχνευση πλακωδών νεοπλασιών στην οφθαλμική επιφάνεια μέσω βιοψίας. Το σύστημα αυτό καθορίζει τα όρια της νεοπλασίας, προσφέροντας έτσι την οπτική αναπαράσταση των ορίων του όγκου σε σύντομο χρόνο, παρέχοντας τη δυνατότητα ακόμα και χρήσης του

κατά τη διάρκεια του χειρουργείου, ώστε να εκτιμηθούν άμεσα τα “καθαρά” από καρκίνο όρια.

Παράλληλα, οι τεχνολογίες TN συνεισφέρουν σημαντικά στην ανάλυση των οφθαλμικών όγκων. Μέσω της επεξεργασίας εικόνων από μαγνητικές τομογραφίες και άλλες διαγνωστικές τεχνικές, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επιτρέπουν τον ακριβέστερο εντοπισμό των περιοχών του όγκου και υπολογίζουν την πιθανή ανταπόκριση στη θεραπεία, όπως είναι η χημειοθεραπεία και η ακτινοβολία. Με αυτόν τον τρόπο, η TN μέσω της πρόληψης και της διάγνωσης, αναμένεται να φέρει επανάσταση στη διαχείριση των ασθενών με οφθαλμικούς καρκίνους [23].

Κερατόκωνος

Ο κερατόκωνος αποτελεί μια προοδευτική εκφύλιση του κερατοειδούς που μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη απώλεια της όραση λόγω ανώμαλου κερατοειδικού αστιγματισμού ή απώλειας της διαφάνειας του κερατοειδούς. Η πρόωπη ανίχνευση του κερατόκωνου, ιδιαίτερα του υποκλινικού τύπου, καθώς και η κατάλληλη θεραπεία κατά κύριο λόγο με τη διασύνδεση κερατοειδούς, είναι απαραίτητες για τη μη εξέλιξη της νόσου [24]. Η έγκαιρη και ακριβής πρόβλεψη της προόδου του κερατόκωνου είναι κρίσιμη για τη συνετή και οικονομικά αποδοτική χρήση της διασύνδεσης κερατοειδούς και για τον καθορισμό της κατάλληλης χρονικής στιγμής για επανέλεγχο. Υπάρχουν διάφορα συστήματα TN που έχουν εφαρμοστεί για την ανίχνευση του κλινικού και υποκλινικού κερατόκωνου μέσω της τοπογραφίας Placido, της τομογραφίας Scheimpflug, της SD-ASOCT και των βιομηχανικών μετρήσεων [18].

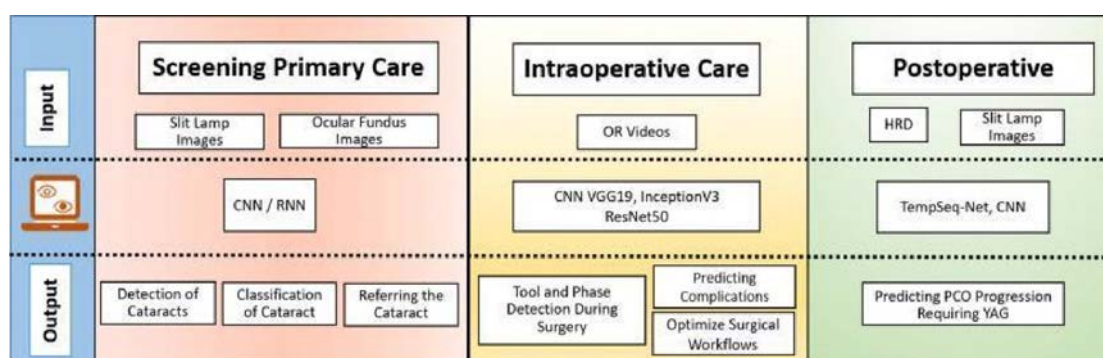
Ο García και οι συνεργάτες του κατάφεραν μέσω της χρήσης ενός δικτύου νευρώνων με χρονική καθυστέρηση, να προβλέψουν τη πρόοδο του κερατόκωνου με βάση δύο προηγούμενες μετρήσεις τομογραφίας από το Pentacam. Το δίκτυο αυτό, δεχόμενο έξι χαρακτηριστικά ως είσοδο και αξιολογώντας τα σε δύο διαδοχικές εξετάσεις, προβλέπει τις αναμενόμενες τιμές και αξιολογεί τον κερατοειδή ως σταθερό ή ύποπτο για την επιδείνωση του κερατόκωνου [25].

Καταρράκτης

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα TN, τα οποία στηρίζονται στη μηχανική μάθηση και χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και βαθμολόγηση του καταρράκτη. Πιο συγκεκριμένα, έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα διάγνωσης με τη βοήθεια υπολογιστή για την ανίχνευση του καταρράκτη από φωτογραφίες οφθαλμών που πάρθηκαν με μια συνηθισμένη ψηφιακή κάμερα.

Έχει επικυρωθεί ένα πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο, τον ResNet, ο οποίος μπορεί να διαγνώσει ένα φυσιολογικό φακό από ένα καταρρακτικό φακό. Η εφαρμογή του συστήματος αυτού σε ένα σύστημα παραπομπών που συνδέει την πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας και τις εξειδικευμένες υπηρεσίες νοσοκομείου, δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης και εντοπισμού των καταρρακτών που χρήζουν ιατρικής παρέμβασης [26].

Υπάρχουν αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης που χρησιμοποιούνται για τη κατηγοριοποίηση των συγγενών καταρρακτών, οι οποίοι μπορούν να αναγνωρίζουν τη περιοχή του φακού με τη θολερότητα, τη πυκνότητα και το βαθμό του συγγενούς καταρράκτη, μέσα από φωτογραφίες που έχουν αποκτηθεί από σχισμοειδή λυχνία [27]. Τα συστήματα μηχανικής μάθησης που εφαρμόζονται στη χειρουργική καταρράκτη έχουν αποδειχθεί ικανά να καθοδηγήσουν σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό και τα βήματα της χειρουργικής επέμβασης, καθώς και να προβλέψουν την πιθανότητα εμφάνισης θόλωσης οπισθίου περιφακίου μετεγχειρητικά και την ταυτόχρονη ανάγκη για καψουλοτομή με ικανοποιητική ακρίβεια [28].



Εικόνα 2: Τεχνητή Νοημοσύνη στα διαφορετικά στάδια διαχείρισης του καταρράκτη: Εφαρμογές για έλεγχο, διάγνωση, ενδοεγχειρητική βελτιστοποίηση και μετεγχειρητική φροντίδα. Πηγή: Gutierrez et al. "Application of artificial intelligence in cataract management: current and future directions." Eye and Vision, 2022, 9:3.

Τέλος, ο υπολογισμός της ισχύος του ενδοφακού μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω συστημάτων μηχανικής μάθησης με κλασικό παράδειγμα τον τύπο Hill-RBF, ο οποίος αναλύει δεδομένα όπως το αξονικό μήκος, το κεντρικό πάχος κερατοειδούς, το βάθος πρόσθιου ημιμορίου, το πάχος φακού και τη διάμετρο κερατοειδούς [18].

Παιδιατρική Οφθαλμολογία

Στον παιδιατρικό πληθυσμό, η έγκαιρη αντιμετώπιση των οφθαλμικών παθήσεων είναι ζωτικής σημασίας κυρίως λόγω του κινδύνου της αμβλυωπίας. Η ενσωμάτωση της TN σε διαδικασίες ελέγχου, διάγνωσης και θεραπείας μπορεί να αλλάξει ριζικά τον τρόπο που παρέχεται η οφθαλμολογική φροντίδα. Τέτοια συστήματα έχουν εφαρμοστεί κυρίως στη διάγνωση της συγγενούς καταρράκτη, στην πρόβλεψη επιπλοκών από χειρουργική επέμβαση του και στην ανίχνευση του στραβισμού.

Πιο συγκεκριμένα, έχει δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος βαθιάς μάθησης που αξιολογεί και αναλύει τον στραβισμό μέσα από εξωτερικές εικόνες οφθαλμών, αξιοποιώντας τα οφέλη της τηλε-ιατρικής. Ακόμα, χρησιμοποιείται μια μέθοδος αναγνώρισης του στραβισμού μέσω δεδομένων από παρακολούθηση οφθαλμικών κινήσεων (eye-tracking) και συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNNs). Με τη χρήση ενός οφθαλμογράφου, γίνεται καταγραφή των κινήσεων των οφθαλμών και δημιουργείται η εικόνα απόκλισης βλέμματος (Gaze Deviation Map ή GaDe) που απεικονίζει την ακρίβεια και την κατεύθυνση των σημείων βλέμματος. Στη συνέχεια η εικόνα αυτή εισάγεται σε ένα σύστημα συνελκτικών νευρωνικών δικτύων, που έχει εκπαιδευτεί σε μια μεγάλη βάση δεδομένων με παρόμοιες εικόνες [29].

Ο Almeida και οι συνεργάτες του παρουσίασαν μία μεθοδολογία βασισμένη στο τεστ Hirschberg, όπου εξετάζοντας την θέση των αντανakλάσεων του φωτός στους κερατοειδείς χιτώνες των οφθαλμών. Όταν ο ασθενής κοιτάζει προς μια φωτεινή πηγή, ανιχνεύεται και εκτιμάται ο στραβισμός, ενσωματώνοντας τις μετρήσεις αυτές για τον σχεδιασμό χειρουργικών επεμβάσεων, όπως του οριζόντιου στραβισμού μέσω του υπολογισμού ευθυγράμμισης των οφθαλμών, με υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα [30].

Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί συστήματα μηχανικής μάθησης τα οποία χρησιμεύουν στην ανίχνευση της υψηλής μυωπίας και άλλων διαθλαστικών ανωμαλιών. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η τεχνική Brückner που απεικονίζει τη κόκκινη αντανάκλαση της κόρης του ματιού και μέσω βίντεο βοηθάει στην αξιολόγηση της ανάπτυξης της οράσεως, καθώς και τη κατηγοριοποίηση των παιδιών με κίνδυνο μελλοντικής διαταραχής ανάγνωσης [31].

Τέλος, μελέτες έχουν δείξει ότι μέσω φωτογραφιών από smartphone κινητά τηλέφωνα ή ψηφιακές κάμερες, μπορεί να γίνει αυτόματη ανίχνευση της λευκοκορίας σε παιδιά, με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση για αποκλεισμό σοβαρών παθήσεων όπως το ρετινοβλάστωμα.

Οφθαλμοπλαστική

Η TN αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά την αυτοματοποιημένη διάγνωση και ποσοτικοποίηση παθήσεων, που αφορούν τον οφθαλμικό κόγχο και τη περιοχή των βλεφάρων καθώς δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης πολύ μεγάλων όγκων δεδομένων σε μικρό χρονικό διάστημα και με μεγάλη ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα, έχουν δημιουργηθεί συστήματα που χρησιμοποιούν τη βαθιά μάθηση και μέσω επεξεργασίας ιατρικών εικόνων, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά για τη διάγνωση και παρακολούθηση ανάλογων παθήσεων χάρη στην αυτόματη αναγνώριση και τμηματοποίηση ανατομικών δομών - οστικών και μαλακών μορίων - του οφθαλμικού κόγχου και της περιβλεφάριας περιοχής μέσα από εικόνες αξονικής (Computed Tomography - CT) και μαγνητικής τομογραφίας (Magnetic Resonance Imaging - MRI). Πιο συγκεκριμένα, αυτού του είδους τα συστήματα χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση και αξιολόγηση παθήσεων όπως για παράδειγμα τα κατάγματα του οφθαλμικού κόγχου, οι όγκοι και η θυρεοειδική οφθαλμοπάθεια (TAO), διευκολύνοντας το σχεδιασμό χειρουργικών επεμβάσεων [32].

Επιπλέον, η TN μπορεί να επιφέρει ριζικές αλλαγές στη πρόβλεψη των μετεγχειρητικών αποτελεσμάτων σε χειρουργικές επεμβάσεις οφθαλμοπλαστικής. Πιο συγκεκριμένα, έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα ανάλυσης εικόνας που χρησιμοποιεί τη βαθιά μάθηση και βοηθάει στην αξιολόγηση πολλαπλών μορφολογικών παραμέτρων, πριν και μετά το χειρουργείο όπως για παράδειγμα την μετεγχειρητική συμμετρία των

βλεφάρων τόσο για αισθητικούς όσο και για λειτουργικούς λόγους. Τέτοιοι παράμετροι αποτελούν το MRD1 (Margin Reflex Distance 1) που είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ της αντανάκλασης του φωτός στον κερατοειδή και του άνω χείλους του άνω βλεφάρου, το MRD2 (Margin Reflex Distance 2) που ορίζεται ως η απόσταση από την αντανάκλαση του φωτός στον κερατοειδή έως το κάτω χείλος του κάτω βλεφάρου, το μήκος του άνω βλεφάρου και η επιφάνεια του κερατοειδούς που είναι ορατή, δηλαδή δεν είναι καλυμμένη από τα βλέφαρα, παράμετροι που συνήθως υπολογίζονται με χειροκίνητες μεθόδους π.χ. χάρακες [33].

Τέλος, υπάρχουν μοντέλα TN τα οποία επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη και άμεση διάγνωση οφθαλμολογικών καρκίνων όπως το μελάνωμα, μέσα από ανάλυση ιστοπαθολογικών δειγμάτων στα πλαίσια της παθολογοανατομική εξέτασης που είναι αναγκαία για τη διάγνωση και σταδιοποίηση τους.

Εφαρμογή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης στη πρόβλεψη συστηματικών παθήσεων με βάση τις εικόνες του αμφιβληστροειδούς

Είναι ευρέως γνωστό ότι οι καρδιαγγειακές ασθένειες και τα αγγειακά εγκεφαλικά νοσήματα έχουν κοινή βάση, όσον αφορά τον παθοφυσιολογικό τους μηχανισμό και τους παράγοντες κινδύνου, κάτι που αντανακλάται και στις δύο περιπτώσεις στον βυθού του οφθαλμού. Πιο συγκεκριμένα, η ανατομία του οφθαλμού παρέχει την δυνατότητα της άμεσης παρατήρησης του αγγειακού και του κεντρικού νευρικού συστήματος, αποκαλύπτοντας σημάδια ποικίλων συστηματικών ασθενειών όπως ο διαβήτης, η υπέρταση αλλά και νευρολογικών νοσημάτων όπως το Αλτσχάιμερ. Με βάση τη φυσιολογία, το μέγεθος των αρτηριολίων ως προς τα φλεβίδια μπορεί να προβλεφθεί η εμφάνιση υπέρτασης και εγκεφαλικών επεισοδίων, ενώ η στένωση και η ελίκωση των αρτηριολίων συνδέεται με τη στεφανιαία νόσο [34].

Το γεγονός ότι αυτές οι μεταβολές στο μέγεθος και στο σχήμα των αγγείων του αμφιβληστροειδή μπορούν να εντοπιστούν μέσω μη επεμβατικής ψηφιακής απεικόνισης, η οποία είναι προσιτή οικονομικά και διαθέσιμη σε ευρεία κλίμακα ιατρικών δομών, καθιστά τα προγράμματα τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση των συστηματικών παθήσεων που αναφέρθηκαν μέσω εικόνων βυθού,

ιδιαίτερως ελκυστικά καθώς μπορούν να παρέχουν στους γιατρούς πληροφορίες που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τη κλινική εξέταση [35].

Ηθικοί Προβληματισμοί στην Οφθαλμολογία

Οι ιατρικές ειδικότητες που έχουν πρόσβαση σε μεγάλο όγκο απεικονίσεων και δεδομένων, όπως η οφθαλμολογία, αποτελούν πρωτοπόρους κλάδους ως προς την εφαρμογή της ΤΝ στην ιατρική και αναμένεται στο μέλλον τα συστήματα ΤΝ να διαδραματίσουν ένα αναπόσπαστο κομμάτι στη καθημερινή οφθαλμολογική πρακτική [36]. Ωστόσο, η χρήση της ΤΝ στην οφθαλμολογία εγείρει διάφορα ηθικά ζητήματα και προκλήσεις που δυνητικά μπορούν να επηρεάσουν την ιατρική περίθαλψη των ασθενών, τον ρόλο των ιατρών αλλά και γενικότερα το κοινό καλό [37].

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι καθώς ο ρόλος της ΤΝ βρίσκεται σε μια συνεχή εξέλιξη στον τομέα της οφθαλμολογίας, η ηθική, μεθοδολογική, τεχνική και κοινωνική προσέγγιση αυτής είναι ζωτικής σημασίας ώστε να υπερκεραστούν οι πιθανοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τη ΤΝ και να αναδειχθούν μόνο τα οφέλη της σχετιζόμενα με την βελτιωμένη διάγνωση και θεραπεία [38].

Προστασία Δεδομένων και Ασφάλεια

Η ασφάλεια των δεδομένων αποτελεί είναι μείζον ζήτημα και προβληματισμό στον τομέα της υγείας, ειδικά με την ραγδαία ανάπτυξη της ΤΝ και πιο συγκεκριμένα των μοντέλων μηχανικής μάθησης (DL), καθώς αυτά απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων για εκπαίδευση, σε συνδυασμό με τη ταυτόχρονη χρήση των ΜΔ, τόσο σε μορφή εικόνων όσο και σε σύνολα δεδομένων [39]. Τα δεδομένα αυτά συχνά αποτελούν

ευαίσθητες πληροφορίες ασθενών όπως ιατρικό ιστορικό, διαγνωστικές απεικονίσεις και ιατρικά πορίσματα. Όπως είναι προφανές, η ανεπαρκής ασφάλεια αυτών των δεδομένων μπορεί να έχει δυνητικά επιζήμια επακόλουθα, όπως παραβιάσεις δεδομένων, κατάχρηση ευαίσθητων πληροφοριών ή ακόμα και απώλεια πληροφοριών ασθενών κάτι το οποίο με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις [40]. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το οικονομικό όφελος αποτελεί το βασικότερο κίνητρο, καθώς η πώληση ιατρικών δεδομένων είναι πολύ κερδοφόρα, ενώ δε θα πρέπει να αμελήσουμε να αναφέρουμε ότι η κατάχρηση τέτοιων πληροφοριών μπορεί να αποτελεί πολιτικό κίνητρο ή μέρος του κυβερνοπολέμου [40]. Σύμφωνα με έρευνες, 45 εκατομμύρια άτομα στις ΗΠΑ επλήγησαν από τέτοιους είδους επιθέσεις στον τομέα της υγείας το 2021, επιφέροντας τεράστιες οικονομικές ζημιές. Επιπλέον, γνωρίζουμε ότι η εκπαίδευση των μοντέλων μηχανικής μάθησης απαιτεί την μεταφορά και αποθήκευση συνδυασμού εικόνων από πολλές και διαφορετικές πηγές, γεγονός το οποίο εγείρει ανησυχίες ότι μέσω αυτής της πρακτικής μεταφοράς υπάρχει αυξημένος κίνδυνος παραβίασης αυτών των ιατρικών δεδομένων, και πιο συγκεκριμένα της ιδιωτικότητας των ασθενών, αφού όλες οι απεικονιστικές εξετάσεις και εικόνες θεωρούνται προστατευμένες υγειονομικές πληροφορίες [39]. Αυτά τα παραδείγματα υπογραμμίζουν ότι είναι αναγκαίο να βελτιωθεί η ασφάλεια των ψηφιακών ιατρικών συσκευών, των προγραμμάτων ΤΝ και των ιατρικών δεδομένων, εξασφαλίζοντας την ηθική συλλογή, αποθήκευση και χρήση αυτών, στοχεύοντας στην εξάλειψη κάθε κινδύνου για τους ασθενείς [41].

Αλγοριθμική μεροληψία (bias)

Η αλγοριθμική μεροληψία ή αλλιώς bias λογίζεται μια αξιοσημείωτη ηθική πρόκληση που σχετίζεται με την ανάπτυξη και εφαρμογή προγραμμάτων ΤΝ στον τομέα της οφθαλμολογίας. Το αποτέλεσμα αυτό προκαλείται όταν οι αλγόριθμοι ΤΝ εκπαιδεύονται με “μεροληπτικά δεδομένα” ώστε στη συνέχεια μπορούν να κάνουν πιο έντονες ή να διαιωνίσουν υπάρχουσες ανισότητες μέσω λανθασμένων αποφάσεων, έχοντας σημαντική επιρροή στο πώς αντιλαμβανόμαστε τα ιατρικά αποτελέσματα των ασθενών και τη πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας [42].

Πιο συγκεκριμένα, τα λογισμικών ΤΝ και πιο συγκεκριμένα συστήματα μηχανικής μάθησης εμφανίζουν μια επιρρέπεια στη μεροληψία λόγω του φαινομένου

της "μετατόπισης κατανομής" (distributional shift), όπου το σύστημα, δεν αναγνωρίζει την "αλλαγή" σε σχέση με τα δεδομένα που εκπαιδεύτηκε, πχ εξαιτίας μη αντιπροσωπευτικών δεδομένων κατά την εκπαίδευση [40]. Οι ηθικές συνέπειες της αλγοριθμικής μεροληψίας υπερβαίνουν το επίπεδο του μεμονωμένου ασθενή και επεκτείνονται κοινωνικά, εντείνοντας κοινωνικές συστημικές ανισότητες. Η ανισοκατανομή εικόνων κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης μέσω μηχανικής μάθησης, αποτελεί μια συνήθη αιτία μεροληψίας στο τομέα της οφθαλμολογίας, ενισχύοντας κοινωνικές ή φυλετικές διακρίσεις σε υποομάδες ασθενών [39].

Μια χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η σύνθεση του συνόλου δεδομένων της σημαντικής κλινικής μελέτης AREDS (Age-Related Eye Disease Study), όπου υπήρξε υπερβολική εκπροσώπηση ενός συγκεκριμένου φυλετικού πληθυσμού, και πιο συγκεκριμένα, των Καυκάσιων σε ποσοστό 96% στις κλινικές δοκιμές, με τη ταυτόχρονη υποεκπροσώπηση άλλων φυλών, όπως Μαύρους, Ασιάτες ή Ισπανόφωνους, κάτι το οποίο δημιούργησε σημαντική μεροληψία στα αποτελέσματα της μελέτης, καθώς αυτά δεν είναι αξιόπιστα για όλους τους υποπληθυσμούς, με ότι αυτό μπορεί να συνεπάγεται [43]. Για όλους αυτούς τους λόγους, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται και να τηρούνται αυστηρές διαδικασίες ελέγχου του συνόλου δεδομένων ώστε να παρακολουθείται και να καταπολεμάται η αλγοριθμική μεροληψία [44].

Διαφάνεια και Επεξηγησιμότητα

Τα συστήματα TN διαφοροποιούνται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το αν μπορούν να γίνουν κατανοητά από τον άνθρωπο. Τα συστήματα που ανήκουν στη κατηγορία των μη πλήρως κατανοητών, είναι τόσο σύνθετα που τους αποδίδεται ο όρος "μαύρα κουτιά" [36]. Αυτή η πολυπλοκότητα έχει να κάνει με τον τρόπο εκπαίδευσης αυτών, καθώς δεν γίνεται ένας απλός και σαφής προγραμματισμός, οδηγώντας τον κλινικό γιατρό σε αβεβαιότητα καθώς υπάρχει κίνδυνος μη αναμενόμενων ή εσφαλμένων αποτελεσμάτων, τα είναι προκαθορισμένα από την εκπαίδευσή τους, όπως στηρίζεται από πρόσφατες έρευνες. Ειδικά στην οφθαλμολογία, που οι περισσότερες διαγνώσεις όπως η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια, το γλαύκωμα και άλλες βασίζονται σε ξεκάθαρους ορισμούς, η μη επεξηγησιμότητα των αποτελεσμάτων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την διαγνωστική διαδικασία. Είναι γνωστό, ότι μία από τις βασικές ηθικές αρχές που σχετίζονται με τη TN αποτελεί η διαφάνεια που

αντανακλά στην δυνατότητα του ανθρώπου και στη συγκεκριμένη περίπτωση του κλινικού γιατρού να αντιλαμβάνεται και να ερμηνεύει πλήρως πώς και γιατί παρήχθησαν κάποια συγκεκριμένα αποτελέσματα ή ποια δεδομένα δεν συμπεριλήφθηκαν κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης του μοντέλου [36]. Αυτό με τη σειρά του μπορεί κλονίσει τόσο την εμπιστοσύνη του ιατρού απέναντι στα συστήματα TN όσο και να εγείρει ερωτήματα σε σχέση με το ποιός έχει την ευθύνη. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, είναι αναγκαίο να θεσπιστούν μηχανισμοί που ενισχύουν τα χαρακτηριστικά της διαφάνειας και της επεξηγησιμότητας αυτών των συστημάτων [45].

Ιατρική Ευθύνη

Η TN και η εφαρμογή της στην ιατρική έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο που γίνεται η διάγνωση, η θεραπεία και η πρόγνωση διαφόρων ασθενειών, αποτελώντας ένα σημαντικό όπλο στη φαρέτρα των κλινικών ιατρών. Ωστόσο, έχει γεννηθεί το ερώτημα, το οποίο μέχρι και σήμερα παραμένει απαντημένο με ασάφειες, ως προς το ποιος λογοδοτεί αν υπάρξει κάποιο σφάλμα, όπως λόγου χάρη να μην αναγνωριστεί μια οφθαλμολογική πάθηση ή να υποδειχθεί κάποια εσφαλμένη θεραπεία, γεγονός που θα μπορούσε να επιφέρει σοβαρή ζημιά στην υγεία των ασθενών [45].

Με άλλα λόγια τίθεται το ζήτημα ευθύνης, το οποίο είναι αρκετά δύσκολο να αποδοθεί σε ένα συγκεκριμένο υπεύθυνο, λόγω της πολυπλοκότητας της λειτουργίας των συστημάτων υγείας. Δημιουργείται ένα «κενό ευθύνης» ως το ποιος αναλαμβάνει την ευθύνη ανάμεσα στον γιατρό, τους κατασκευαστές του συστήματος TN, τους προγραμματιστές λογισμικού, τα νοσοκομεία και τις ασφαλιστικές εταιρείες [46]. Το ζήτημα αυτό είναι κρίσιμο, καθώς καθορίζει, σε περίπτωση ιατρικού σφάλματος, το ποιος θα έχει τη πλήρη νομική ευθύνη με όσα αυτό συνδέεται όπως για παράδειγμα την αποζημίωση του ασθενή. Το νομικό πλαίσιο που αφορά τη χρήση TN και την απόδοση ευθύνης βρίσκεται σε διαρκή εξέλιξη. Στις ΗΠΑ, την ιατρική ευθύνη φέρουν οι ιατροί, καθώς αυτοί παίρνουν τις τελικές αποφάσεις και μπορούν κατηγορηθούν για ιατρική αμέλεια, θεωρώντας ότι τα συστήματα TN αποτελούν απλώς ένα εργαλείο που συνεπικουρεί στη διάγνωση, παρακολούθηση και θεραπεία των ασθενών [46]. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω του Λευκού Βιβλίου, που δημοσιεύθηκε το 2020, για τη TN,

υπογραμμίζει ότι η τελική ευθύνη για τη λήψη αποφάσεων βρίσκεται στα χέρια των επαγγελματιών υγείας, διασφαλίζοντας την αναγκαιότητα της ανθρώπινης εποπτείας σε κάθε χρήση των συστημάτων TN, προστατεύοντας την υγεία και ασφάλεια των ασθενών. Γίνεται, τα τελευταία χρόνια, προσπάθεια δημιουργίας νομοθετικού πλαισίου σχετικά με την “ευθύνη προϊόντος” ώστε να μπορεί σε περίπτωση ζημίας, να αποδοθεί ευθύνη στους κατασκευαστές ή στους προγραμματιστές ενός συστήματος TN, χωρίς την αναγκαία συνθήκη απόδειξης αμέλειας [40].

Ανθρώπινος Ρόλος στη Λήψη Αποφάσεων

Αν και η TN προσφέρει πολλαπλές ευκαιρίες για βελτίωση της αποδοτικότητας και της ακρίβειας σχετικά με την διάγνωση και τη παρακολούθηση των οφθαλμολογικών παθήσεων, είναι σημαντικό να μην υποτιμάται ο ρόλος του κλινικού ιατρού. Οι οφθαλμίατροι στη προκειμένη περίπτωση, πέρα από το ότι διαθέτουν ειδικές κλινικές δεξιότητες και γνώσεις που είναι απαραίτητες για την λήψη κλινικών αποφάσεων, χαρακτηρίζονται επιπλέον από ενσυναίσθηση, θεμελιώδες στοιχείο για τη σχέση γιατρού - ασθενή και την ολιστική φροντίδα που προάγει την σωματική, ψυχική και συναισθηματική ευημερία του ασθενούς, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο την αποτελεσματικότητα της θεραπείας και την εμπιστοσύνη στην ιατρική διαδικασία. Τα συστήματα TN μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα σημαντικό εργαλείο επιβεβαίωσης και υποστήριξης με σκοπό την βελτιστοποίηση των θεραπευτικών στρατηγικών, χωρίς ωστόσο να έχουν τη δυνατότητα να εκδηλώνουν ενσυναίσθηση και να λαμβάνουν υπόψη τις ηθικές και συναισθηματικές επιπτώσεις που συνεπάγεται μια ιατρική απόφαση [46]. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι είναι απαραίτητο να γίνουν προσπάθειες για τη καλύτερη δυνατή συνεργασία μεταξύ ανθρώπινης και TN χωρίς όμως να γίνεται αντικατάσταση της ανθρώπινης κρίσης.

Ιδιοκτησία δεδομένων υγείας

Ένα από τα προβλήματα που αναδύονται λόγω της συνεχόμενης εξέλιξης και βελτίωσης των συστημάτων TN είναι το ποιός έχει τελικά την ιδιοκτησία των αλγορίθμων και δεδομένων υγείας και επομένως το δικαίωμα ελέγχου, επεξεργασίας ή πρόσβασης σε αυτά. Πέρα από τους ασθενείς, δικαιώματα ιδιοκτησίας στα δεδομένα

υγείας μπορεί να διεκδικήσουν οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης, οι γιατροί, τα νοσοκομεία, οι ασφαλιστικές εταιρείες καθώς και οι προγραμματιστές που ασχολούνται με την διαχείριση και αποθήκευσή τους [37]. Αυτός ο προβληματισμός διαφαίνεται ολοένα και εντονότερος λόγω της αυξημένης εμπλοκής μεγάλων τεχνολογικών κολοσσών, όπως η Google, η Microsoft, η IBM και η Apple, στον τομέα της υγείας προσφέροντας από τη μια καινοτόμες ιδέες, εργαλεία και πλατφόρμες που επιτρέπουν την διαχείριση και ανάλυση δεδομένων υγείας, διεκδικώντας από την άλλη ολοένα και περισσότερα σε σχέση με την ιδιοκτησία και χρήση των δεδομένων υγείας, εγείροντας ηθικά αλλά και νομικά ζητήματα [37]. Το χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεταφοράς δεδομένων από το βρετανικό νοσοκομείο NHS Royal Free Trust στην εταιρεία DeepMind, χωρίς τη συγκατάθεση των ασθενών, σηματοδότησε την αρχή των συζητήσεων και προβληματισμών σχετικά με τη πρόσβαση και χρήση των δεδομένων υγείας, ασχέτως αν από βιοηθικής απόψεως οι ασθενείς είναι οι μόνοι που θα πρέπει να είναι “ιδιοκτήτες” των δεδομένων υγείας τους, που περιλαμβάνονται στα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα [40]. Επιπλέον, κυκλοφορούν πλατφόρμες στο διαδίκτυο που δίνουν την δυνατότητα στους ασθενείς να πουλήσουν τα δεδομένα υγείας τους και μετά την μεταβίβαση αυτών, να χάνουν οποιοδήποτε έλεγχο της χρήσης τους. Τέλος, γίνεται λόγος για αβεβαιότητα σχετικά με την ιδιοκτησία δεδομένων υγείας και των ίδιων των αλγορίθμων σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται δεδομένα υγείας, όπως εικόνες βυθού από πολλά και διαφορετικά ιδρύματα, με παράδειγμα τον αλγόριθμο Eye2Gene, που χρησιμοποιείται για τη ταχύτερη διάγνωση κληρονομικών οφθαλμικών παθήσεων. Οι εξελίξεις αυτές τονίζουν την αναγκαιότητα να διασφαλιστούν τα δικαιώματα των ασθενών σε σχέση με τη προστασία και χρήση των δεδομένων υγείας τους.

Ισότητα και Πρόσβαση στην Υγειονομική Περίθαλψη

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή της ΤΝ στην ιατρική και, πιο συγκεκριμένα, στην οφθαλμολογία, συνδέεται με την ηθική υποχρέωση ισότιμης και καθολικής πρόσβασης στην υγειονομική φροντίδα. Τα συστήματα αυτά, πέρα από τις δυνατότητες που προσφέρουν, βελτιώνοντας τη ποιότητα των ιατρικών παροχών, ενδέχεται μέσω της

ευρείας χρήσης τους να οξύνουν τις ήδη υπάρχουσες κοινωνικοοικονομικές ανισότητες και να ενισχύσουν επιπλέον το χάσμα μεταξύ εύπορων/προνομιούχων και υποεκπροσωπούμενων πληθυσμών στην υγειονομική περίθαλψη. Με άλλα λόγια, ελλοχεύει ο κίνδυνος να μη διασφαλιστεί ότι τα συστήματα TN θα είναι διαθέσιμα και προσβάσιμα για όλους, χωρίς καμία διάκριση, ωφελώντας κυρίως τα πιο προνομιούχα κοινωνικά στρώματα, αφήνοντας τους κοινωνικά ευάλωτους και αυτούς που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές, με περιορισμένη πρόσβαση σε εξειδικευμένες υπηρεσίες υγείας, αποκλεισμένους [44]. Μια άλλη βασική ανησυχία που συνδέεται με την ευρεία εφαρμογή της TN σχετίζεται με το αλγοριθμικό bias που αναφέρθηκε παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα TN εκπαιδεύονται με συγκεκριμένα δεδομένα, το οποίο συνεπάγεται ότι αν αυτά τα δεδομένα προέρχονται από ένα περιορισμένο υποσύνολο του πληθυσμού, εθνικό ή κοινωνικοοικονομικό, δεν είναι δυνατή η αντιπροσώπευση του ευρύτερου συνόλου [44]. Αυτό έχει ως αποτελέσματα τα συστήματα αυτά να προτείνουν ακατάλληλες θεραπείες ή να μη μπορούν να ανιχνεύσουν συγκεκριμένες ασθένειες για τους υπόλοιπους υποπληθυσμούς. Είναι υψίστης σημασίας να γίνουν προσπάθειες ώστε η χρήση της TN στην οφθαλμολογία να στοχεύει στην διασφάλιση της ισότιμης πρόσβασης για όλους τους ασθενείς, χωρίς να παίζει ρόλο το κοινωνικοοικονομικό τους υπόβαθρο, ούτε η γεωγραφική τους θέση, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών.

Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη φέρνει στο προσκήνιο μια σειρά από ηθικές προκλήσεις και προβληματισμούς που συνδέονται με την εφαρμογή της TN και των ΜΔ στον τομέα της οφθαλμολογίας. Οι προκλήσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με την ισότητα και τη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη, την ιδιοκτησία, προστασία και ασφάλεια δεδομένων υγείας, τον ανθρώπινο ρόλο στη λήψη αποφάσεων, την ιατρική ευθύνη, την διαφάνεια και επεξηγησιμότητα της TN, καθώς και την αλγοριθμική μεροληψία. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής μελέτης αυτής δείχνουν ότι, αν και η TN έχει

μεγάλες δυνατότητες και προσφέρει καινοτόμα εργαλεία για την αναβάθμιση της διάγνωσης αλλά και της θεραπείας των ασθενών, οι ηθικές ανησυχίες που ανακύπτουν απαιτούν μελετημένη και υπεύθυνη προσέγγιση.

Η διαφάνεια και η επεξηγησιμότητα των αλγορίθμων TN σχετικά με την λήψη αποφάσεων αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες που θα διευκόλυναν την αποδοχή και την ευρεία εφαρμογή της τόσο από τους επαγγελματίες υγείας όσο και τους ίδιους τους ασθενείς, οικοδομώντας εμπιστοσύνη. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αρκετά από τα μοντέλα βαθιάς μάθησης αντιμετωπίζονται ως "μαύρα κουτιά" καθώς λειτουργούν με τρόπο που είναι πολύ δύσκολη έως και αδύνατη η πλήρης κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λαμβάνουν αποφάσεις. Η αβεβαιότητα αυτή θέτει σημαντικές προκλήσεις για τους επαγγελματίες υγείας, καθώς καλούνται με τη σειρά τους να αναλάβουν την ευθύνη για μια διάγνωση που σε κάποιες περιπτώσεις δε μπορούν ούτε οι ίδιοι να ερμηνεύσουν. Έτσι, καταλαβαίνουμε ότι για να ενισχυθεί η ιατρική ευθύνη, είναι απαραίτητο να παρέχονται στους γιατρούς όχι μόνο ακριβείς και γρήγορες λύσεις μέσω της TN, αλλά και την δυνατότητα να κατανοούν το "γιατί" οδηγήθηκαν σε αυτές, δηλαδή να επιτρέπεται στους γιατρούς να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα με βάση τις ιατρικές τους γνώσεις.

Ένα ακόμα κρίσιμο ζήτημα αποτελεί η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικότητας των ιατρικών δεδομένων, καθώς η ανάγκη συλλογής μεγάλων δεδομένων για την εκπαίδευση των αλγορίθμων της TN αυξάνει ταυτόχρονα τον κίνδυνο παραβίασης της ιδιωτικότητας αυτών των δεδομένων, καθώς οι ευαίσθητες πληροφορίες των ασθενών μπορεί να γίνουν προσβάσιμες από τρίτα άτομα. Οι κανονισμοί, όπως το GDPR, καταφέρνουν να περιορίζουν αυτούς τους κινδύνους, αλλά η πολυπλοκότητα της διαχείρισης των δεδομένων αυτών παραμένει μια πρόκληση, ιδιαίτερα λόγω της ανάγκης για τη χρήση ανωνυμοποιημένων ή ψευδωνυμοποιημένων δεδομένων που μπορεί να επηρεάσουν ωστόσο την ακριβή εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Είναι απαραίτητο, με άλλα λόγια, να διασφαλίζεται η προστασία και η ασφάλεια των ιατρικών δεδομένων, με ισχυρά πρωτόκολλα και διαδικασίες, προκειμένου να φυλάσσονται τα προσωπικά δεδομένα των ασθενών.

Σε κάποιες περιπτώσεις, η υπερβολική εξάρτηση των επαγγελματιών υγείας από την TN μπορεί να οδηγήσει σε κάποιες περιπτώσεις στην μείωση της αυτονομίας τους, καθώς η "τυφλή" εμπιστοσύνη προς τις νέες αυτές τεχνολογίες ενδέχεται να

υπονομεύσει την κριτική τους ικανότητα, ιδιαίτερα όταν τα μοντέλα λειτουργούν ως “μαύρα κουτιά”. Επομένως, απαιτείται ένα υποστηρικτικό πλαίσιο, όπου η ΤΝ παρέχει πληροφορίες και προτάσεις χωρίς να αντικαθιστά την επαγγελματική κρίση και κριτική ικανότητα του γιατρού. Από την άλλη πλευρά, η αλγοριθμική μεροληψία (bias) αποτελεί μια ακόμα σημαντική πρόκληση. Οι αλγόριθμοι που εκπαιδεύονται με σύνολα δεδομένων που δεν αντικατοπτρίζουν επαρκώς τις συνθήκες που επικρατούν στον γενικό πληθυσμό ενδέχεται να οδηγήσουν σε διακρίσεις και εσφαλμένα συμπεράσματα. Η προσεκτική ανάλυση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για να εκπαιδευτούν σωστά οι αλγόριθμοι είναι απαραίτητη για να αποφεύγονται τέτοιες καταστάσεις, εξασφαλίζοντας την διεξαγωγή δίκαιων και σωστών αποτελεσμάτων.

Τέλος, δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι είναι απαραίτητο όλες αυτές οι σύγχρονες τεχνολογίες να είναι διαθέσιμες για όλους ανεξαρτήτως κοινωνικοοικονομικού επιπέδου ή γεωγραφικής τοποθεσίας ώστε να διασφαλίζεται η ισότιμη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη. Συνολικά, η ευρεία εφαρμογή της ΤΝ στην οφθαλμολογία απαιτεί προσεκτική εξέταση όλων αυτών των θεμάτων, ώστε να διασφαλιστεί η ηθική και υπεύθυνη χρήση της τεχνολογίας, με στόχο την βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών υγείας και την προστασία των δικαιωμάτων των ασθενών.

Περιορισμοί της Εργασίας

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη για να αξιολογήσουμε το εύρος και τα όρια της. Πρώτον, η ανασκόπηση βασίζεται κυρίως σε δευτερογενή δεδομένα, τα οποία ενδέχεται να μη μπορούν να αποδώσουν πλήρως τις πραγματικές συνθήκες της κλινικής πρακτικής της οφθαλμολογίας, καθώς περιορίζεται η πλήρης κατανόηση των καθημερινών πρακτικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ένας οφθαλμίατρος.

Επιπλέον, η ταχύτατη πρόοδος στον τομέα της ΤΝ και των ΜΔ δυσχεραίνει την εξαγωγή διαχρονικά σταθερών συμπερασμάτων, καθώς η εννοιολογική και πρακτική προσέγγιση σχετικά με τις ηθικές προκλήσεις του σήμερα μπορεί να έχουν

αναδιαμορφωθεί πλήρως στο μέλλον, τροποποιώντας τόσο το κανονιστικό όσο και το νομοθετικό πλαίσιο.

Τέλος, ο βαθμός στον οποίο επιτρέπεται να γενικεύουμε τα αποτελέσματα είναι περιορισμένος, καθώς η υιοθέτηση, η εφαρμογή και η πρόσβαση στην ΤΝ ποικίλλει σε κάθε γωνιά του πλανήτη, τόσο λόγω κοινωνικοοικονομικής ποικιλομορφίας αλλά και γεωγραφικών διαφορών, οδηγώντας στο να θίγεται η αξιοπιστία και η αποδοχή αυτής από τους ασθενείς και τους οφθαλμιάτρους αφού τα αποτελέσματα ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια την πραγματικότητα.

Προτάσεις και Στρατηγικές για την Αντιμετώπιση των Ηθικών Προκλήσεων

Στη προσπάθεια να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι ηθικές προκλήσεις που προκύπτουν από την χρήση της ΤΝ και των ΜΔ στην οφθαλμολογία, είναι κρίσιμο να προσαρμοστούν ανάλογα τόσο το τεχνολογικό όσο και το ρυθμιστικό πλαίσιο που τους περιβάλλει. Στη συνέχεια παρατίθενται προτάσεις και στρατηγικές που στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτών των ηθικών προκλήσεων στην οφθαλμολογία, εστιάζοντας σε ζητήματα όπως η ασφάλεια και η προστασία των δεδομένων, η αλγοριθμική μεροληψία, η διαφάνεια, ο ρόλος του ανθρώπου στη λήψη αποφάσεων και η ισότητα στην πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη:

1. **Ενίσχυση της Ασφάλειας και Προστασίας Δεδομένων:** Είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν ισχυρά πρωτόκολλα διακυβέρνησης δεδομένων, όπως κρυπτογράφηση και έλεγχοι πρόσβασης, για να μειωθούν οι κίνδυνοι μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης.
2. **Διαφάνεια και Εκπαίδευση Ασθενών:** Οι κλινικοί ιατροί θα πρέπει να εκπαιδεύσουν τους ασθενείς σχετικά με τη συλλογή και χρήση των ιατρικών δεδομένων τους, ενισχύοντας τη σχέση εμπιστοσύνης μεταξύ τους και προάγοντας την διαφάνεια.
3. **Αντιμετώπιση Αλγοριθμικής Μεροληψίας:** Είναι αναγκαίο να ενσωματωθούν διαδικασίες που ελαχιστοποιούν την αλγοριθμική μεροληψία κατά την εκπαίδευση των συστημάτων μέσα από ενδεδειγμένους ελέγχους δεδομένων και διαρκής αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου σε διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες.

4. **Διαφάνεια και Εξηγησιμότητα Αλγορίθμων:** Η ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων TN θα δώσει την δυνατότητα στους επαγγελματίες υγείας να κατανοήσουν το πώς και γιατί λαμβάνονται οι αποφάσεις, ενδυναμώνοντας την εμπιστοσύνη στην εφαρμογή τους και ενθαρρύνοντας τη συμμετοχή των πρώτων στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
5. **Ενίσχυση Ρυθμιστικού Πλαισίου:** Η θέσπιση αυστηρότερων και σαφέστερων κανονισμών για τη προστασία των δεδομένων των ασθενών είναι επιτακτική. Ένα προσαρμοσμένο ρυθμιστικό πλαίσιο, σχετικά με την ασφάλεια των ιατρικών δεδομένων και για παράδειγμα την υποχρεωτική συμμόρφωση με προδιαγραφές ανωνυμοποίησης θα μπορούσε δυνητικά να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο παραβίασης της ιδιωτικότητας και να διασφαλίσει ότι τα ιατρικά δεδομένα χρησιμοποιούνται με τρόπο ηθικά υπεύθυνο.
6. **Εκπαίδευση Επαγγελματιών Υγείας:** Η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας σχετικά με την χρήση της TN, στα πλαίσια μαθημάτων βιοηθικής και δεοντολογίας, θα μπορούσε να συμβάλλει σημαντικά στην καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών αυτής της τεχνολογίας, ώστε οι κλινικοί γιατροί, να είναι σε θέση να αξιολογούν με κριτική ματιά τα αποτελέσματα που τους παρέχονται, ενισχύοντας παράλληλα την ικανότητά τους να αναλαμβάνουν την ευθύνη για τις κλινικές αποφάσεις.
7. **Ανάπτυξη Προτύπων Δεοντολογίας:** Ένα σαφές δεοντολογικό πλαίσιο για την χρήση της TN στην οφθαλμολογία είναι ζωτικής σημασίας. Η διαμόρφωση κατευθυντήριων γραμμών για την υπεύθυνη χρήση της TN εγγυάται την προστασία της ιδιωτικότητας, την διασφάλιση της διαφάνειας, ενισχύει την αποδοχή της τόσο από τους ασθενείς όσο και από τους επαγγελματίες υγείας ενώ διασφαλίζει ότι η ανθρώπινη κρίση παραμένει πάντα στο προσκήνιο.
8. **Ανθρώπινος Ρόλος στη Λήψη Αποφάσεων:** Η ανθρώπινη επαφή είναι ζήτημα να παραμένει ουσιώδης στη φροντίδα των ασθενών, και κατα κύριο λόγο κατά την διαδικασία λήψης κλινικών αποφάσεων.
9. **Ισότητα και Πρόσβαση στην Υγειονομική Περίθαλψη:** Είναι σημαντικό να αναληφθούν πρωτοβουλίες ώστε οι σύγχρονες αυτές τεχνολογίες να είναι οικονομικά προσιτές και διαθέσιμες σε όλους, με έμφαση σε κοινωνικά και γεωγραφικά αποκλεισμένες ομάδες.

10. Εκστρατείες Ενημέρωσης: Είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν προγράμματα και εκστρατείες που θα ενημερώνουν το κοινό για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των συστημάτων TN, με τη ταυτόχρονη εκπαίδευση των κλινικών ιατρών και των ασθενών με σκοπό να ενισχύεται η εμπιστοσύνη προς τις σύγχρονες τεχνολογίες μέσω σωστής ενημέρωσης.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή της TN και των μεγάλων δεδομένων στην οφθαλμολογία ανοίγει νέους δρόμους για βελτιστοποίηση της διαγνωστικής και θεραπευτικής ακρίβειας, αλλά ταυτόχρονα εγείρει ηθικά διλήμματα. Τα διλήμματα αυτά όπως αναφέρθηκαν παραπάνω απαιτούν ενδελεχή εξέταση από την επιστημονική και νομική κοινότητα με τη θέσπιση στρατηγικών που θα ενισχύσουν την διαφάνεια, την ασφάλεια, την λογοδοσία στην ιατρική πράξη και την ισότιμη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη. Με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, η ανάγκη για ένα ισχυρό πλαίσιο ηθικής γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική, ώστε να μπορούν οι επαγγελματίες υγείας να παρέχουν την καλύτερη δυνατή φροντίδα στους ασθενείς τους, λαμβάνοντας αποφάσεις με κριτική ικανότητα και βασιζόμενοι σε ακριβή και σαφή αποτελέσματα με τη βοήθεια της TN.

Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στη βελτίωση των αλγορίθμων TN με έμφαση στη διαφάνεια και προστασία των ιατρικών δεδομένων, την ενσωμάτωση δεοντολογικών πλαισίων και την προαγωγή της εκπαίδευσης των επαγγελματιών υγείας, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι ηθικές αυτές προκλήσεις. Ενσωματώνοντας ηθικές αξίες στην εφαρμογή της TN και των ΜΔ, μπορούμε να εξασφαλίσουμε ότι οι ωφέλειες της σύγχρονης τεχνολογίας θα εξυπηρετούν την ανθρώπινη υγεία και ευημερία, ενδυναμώνοντας τη σχέση εμπιστοσύνης μεταξύ γιατρών και ασθενών.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Xu Y, Liu X, Cao X, Huang C, Liu E, Qian S, et al. Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation* [Internet]. 2021 Oct 28 [cited 2024 Oct 2];2(4):100179. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8633405/>
2. Soh ZD, Cheng CY. Application of big data in ophthalmology. *Taiwan J Ophthalmol*. 2023;13(2):123–32.
3. Davenport T, Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthc J* [Internet]. 2019 Jun [cited 2024 Nov 9];6(2):94. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6616181/>
4. Anton N, Doroftei B, Curteanu S, Catălin L, Ilie OD, Târcoveanu F, et al. Comprehensive Review on the Use of Artificial Intelligence in Ophthalmology and Future Research Directions. *Diagnostics* [Internet]. 2023 Jan [cited 2024 Sep 21];13(1):100. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-4418/13/1/100>
5. Liu PR, Lu L, Zhang JY, Huo TT, Liu SX, Ye ZW. Application of Artificial Intelligence in Medicine: An Overview. *Curr Med Sci*. 2021 Dec;41(6):1105–15.
6. Shetty N. Medical Ethics and Law. *Indian J Orthop*. 2023 Nov;57(11):1744–7.
7. Beauchamp TL, Childress JF. *Principles of Biomedical Ethics*. Oxford University Press; 2001. 470 p.
8. Gillon R. Medical ethics: four principles plus attention to scope. *BMJ*. 1994 Jul 16;309(6948):184–8.
9. Varkey B. Principles of Clinical Ethics and Their Application to Practice. *Med Princ Pract* [Internet]. 2021 Feb [cited 2024 Oct 3];30(1):17–28. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7923912/>
10. History of Ophthalmology - EyeWiki [Internet]. [cited 2024 Oct 4]. Available from: https://eyewiki.org/History_of_Ophthalmology#cite_note-33
11. Keeler CR. The ophthalmoscope in the lifetime of Hermann von Helmholtz. *Arch Ophthalmol Chic Ill* 1960. 2002 Feb;120(2):194–201.
12. Ehinger B, Grzybowski A. Allvar Gullstrand (1862-1930)--the gentleman with the lamp. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 2011 Dec;89(8):701–8.
13. Leffler CT, Klebanov A, Samara WA, Grzybowski A. The history of cataract surgery: from couching to phacoemulsification. *Ann Transl Med*. 2020 Nov;8(22):1551.
14. Ting DSW, Peng L, Varadarajan AV, Keane PA, Burlina PM, Chiang MF, et al. Deep learning in ophthalmology: The technical and clinical considerations. *Prog Retin Eye Res*. 2019 Sep;72:100759.
15. Kapoor R, Whigham BT, Al-Aswad LA. Artificial Intelligence and Optical Coherence Tomography Imaging. *Asia-Pac J Ophthalmol Phila Pa*. 2019;8(2):187–94.
16. Faes L, Maloca PM, Hatz K, Wolfensberger TJ, Munk MR, Sim DA, et al. Transforming ophthalmology in the digital century-new care models with added value for patients. *Eye Lond Engl*. 2023 Aug;37(11):2172–5.
17. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, Campbell JP, Lee AY, Raman R, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2019 Feb;103(2):167–75.
18. Akkara JD, Kuriakose A. Role of artificial intelligence and machine learning in ophthalmology. *Kerala J Ophthalmol* [Internet]. 2019 Aug [cited 2024 Sep

- 17];31(2):150. Available from: https://journals.lww.com/kjop/fulltext/2019/31020/role_of_artificial_intelligence_and_machine.12.aspx
19. Wu JH, Lin S, Moghimi S. Application of artificial intelligence in glaucoma care: An updated review. *Taiwan J Ophthalmol* [Internet]. 2024 Sep 13 [cited 2024 Nov 9];14(3):340. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11488804/>
 20. Li H, Jia W, Vujosevic S, Sabanayagam C, Grauslund J, Sivaprasad S, et al. Current research and future strategies for the management of vision-threatening diabetic retinopathy. *Asia-Pac J Ophthalmol Phila Pa*. 2024;13(5):100109.
 21. Labib KM, Ghumman H, Jain S, Jarstad JS. A Review of the Utility and Limitations of Artificial Intelligence in Retinal Disorders and Pediatric Ophthalmology. *Cureus* [Internet]. 2024 Oct 8 [cited 2024 Nov 9];16(10):e71063. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11459419/>
 22. Kapoor R, Walters SP, Al-Aswad LA. The current state of artificial intelligence in ophthalmology. *Surv Ophthalmol*. 2019;64(2):233–40.
 23. Sinha S, Ramesh PV, Nishant P, Morya AK, Prasad R. Novel automated non-invasive detection of ocular surface squamous neoplasia using artificial intelligence. *World J Methodol*. 2024 Jun 20;14(2):92267.
 24. Hashemian H, Peto T, Jr RA, Lengyel I, Kafieh R, Noori AM, et al. Application of Artificial Intelligence in Ophthalmology: An Updated Comprehensive Review. *J Ophthalmic Vis Res* [Internet]. 2024 Sep 16 [cited 2024 Nov 10];19(3):354. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11444002/>
 25. Niazi S, Jiménez-García M, Findl O, Gatzoufas Z, Doroodgar F, Shahriari MH, et al. Keratoconus Diagnosis: From Fundamentals to Artificial Intelligence: A Systematic Narrative Review. *Diagn Basel Switz*. 2023 Aug 21;13(16):2715.
 26. Rampat R, Debellemannièrè G, Gatinel D, Ting DSJ. Artificial intelligence applications in cataract and refractive surgeries. *Curr Opin Ophthalmol*. 2024 Nov 1;35(6):480–6.
 27. Liu YH, Li LY, Liu SJ, Gao LX, Tang Y, Li ZH, et al. Artificial intelligence in the anterior segment of eye diseases. *Int J Ophthalmol* [Internet]. 2024 Sep 18 [cited 2024 Nov 10];17(9):1743. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11367440/>
 28. Gutierrez L, Lim JS, Foo LL, Ng WY, Yip M, Lim GYS, et al. Application of artificial intelligence in cataract management: current and future directions. *Eye Vis Lond Engl*. 2022 Jan 7;9(1):3.
 29. Chen Z, Fu H, Lo WL, Chi Z. Strabismus Recognition Using Eye-Tracking Data and Convolutional Neural Networks. *J Healthc Eng*. 2018;2018:7692198.
 30. Dallyson Sousa de Almeida J, Corrêa Silva A, Cardoso de Paiva A, Antonio Meireles Teixeira J. Computational methodology for automatic detection of strabismus in digital images through Hirschberg test. *Comput Biol Med* [Internet]. 2012 Jan 1 [cited 2024 Sep 21];42(1):135–46. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482511002149>
 31. Ng Yin Ling C, Zhu X, Ang M. Artificial intelligence in myopia in children: current trends and future directions. *Curr Opin Ophthalmol*. 2024 Nov 1;35(6):463–71.
 32. Diao J, Chen X, Shen Y, Li J, Chen Y, He L, et al. Research progress and application of artificial intelligence in thyroid associated ophthalmopathy. *Front Cell Dev Biol*. 2023;11:1124775.
 33. Cai Y, Zhang X, Cao J, Grzybowski A, Ye J, Lou L. Application of artificial

- intelligence in oculoplastics. *Clin Dermatol*. 2024;42(3):259–67.
34. Chan VTT, Ran AR, Wagner SK, Hui HYH, Hu X, Ko H, et al. Value proposition of retinal imaging in Alzheimer's disease screening: A review of eight evolving trends. *Prog Retin Eye Res*. 2024 Aug 22;103:101290.
 35. Tan YY, Kang HG, Lee CJ, Kim SS, Park S, Thakur S, et al. Prognostic potentials of AI in ophthalmology: systemic disease forecasting via retinal imaging. *Eye Vis Lond Engl*. 2024 Dec 6;11(1):17.
 36. González-Gonzalo C, Thee EF, Klaver CCW, Lee AY, Schlingemann RO, Tufail A, et al. Trustworthy AI: Closing the gap between development and integration of AI systems in ophthalmic practice. *Prog Retin Eye Res*. 2022 Sep;90:101034.
 37. Abdullah YI, Schuman JS, Shabsigh R, Caplan A, Al-Aswad LA. Ethics of Artificial Intelligence in Medicine and Ophthalmology. *Asia-Pac J Ophthalmol* [Internet]. 2021 May 1 [cited 2024 Oct 2];10(3):289–98. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2162098923001020>
 38. He M, Li Z, Liu C, Shi D, Tan Z. Deployment of Artificial Intelligence in Real-World Practice: Opportunity and Challenge. *Asia-Pac J Ophthalmol Phila Pa*. 2020;9(4):299–307.
 39. Liu TYA, Bressler NM. Controversies in artificial intelligence. *Curr Opin Ophthalmol*. 2020 Sep;31(5):324–8.
 40. Veritti D, Rubinato L, Sarao V, De Nardin A, Foresti GL, Lanzetta P. Behind the mask: a critical perspective on the ethical, moral, and legal implications of AI in ophthalmology. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* [Internet]. 2024 Mar 1 [cited 2024 Sep 17];262(3):975–82. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00417-023-06245-4>
 41. Yang Y, Chen X, Lin H. Privacy preserving technology in ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol*. 2024 Nov 1;35(6):431–7.
 42. Li YH, Li YL, Wei MY, Li GY. Innovation and challenges of artificial intelligence technology in personalized healthcare. *Sci Rep* [Internet]. 2024 Aug 16 [cited 2024 Nov 10];14:18994. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11329630/>
 43. Liu TYA, Wu JH. The Ethical and Societal Considerations for the Rise of Artificial Intelligence and Big Data in Ophthalmology. *Front Med* [Internet]. 2022 Jun 28 [cited 2024 Sep 17];9. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2022.845522/full>
 44. Abramoff MD, Tarver ME, Loyo-Berrios N, Trujillo S, Char D, Obermeyer Z, et al. Considerations for addressing bias in artificial intelligence for health equity. *NPJ Digit Med*. 2023 Sep 12;6(1):170.
 45. Kalaw FGP, Baxter SL. Ethical considerations for large language models in ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol*. 2024 Nov 1;35(6):438–46.
 46. Evans NG, Wenner DM, Cohen IG, Purves D, Chiang MF, Ting DSW, et al. Emerging Ethical Considerations for the Use of Artificial Intelligence in Ophthalmology. *Ophthalmol Sci* [Internet]. 2022 Jun 1 [cited 2024 Sep 17];2(2). Available from: [https://www.ophtalmologyscience.org/article/S2666-9145\(22\)00030-6/fulltext](https://www.ophtalmologyscience.org/article/S2666-9145(22)00030-6/fulltext)