

Ιατρική και Τεχνητή Νοημοσύνη: Ατενίζοντας το μέλλον.

➡ **Δημήτριος Ν. Χρυσός**

τ. Συντονιστής Διευθυντής Καρδιολογικού Τμήματος Γενικού Παναρκαδικού Νοσοκομείου Τρίπολης

Εισαγωγή

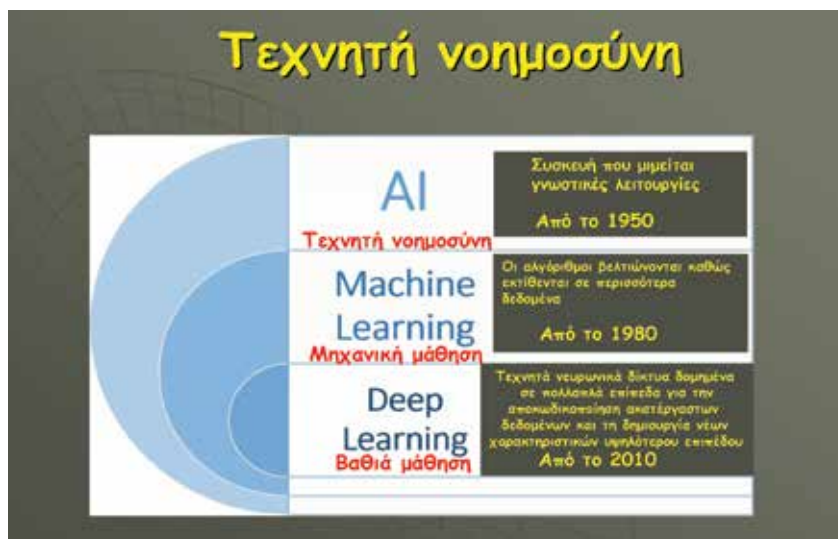
Η συμπόρευση Επιστήμης και Τεχνολογίας κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ού αιώνα και τις δύο πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα συνέβαλε στη δημιουργία σπουδαίων ανακαλύψεων, που βελτίωσαν σημαντικά την ποιότητα της ζωής του ανθρώπου, αλλά ταυτόχρονα περιέχουν, εν δυνάμει, και τη δυνατότητα καταστροφής του. Παράλληλα, από τις αρχές του 21ου αιώνα έχουμε τη μετάβαση από την 3η στην 4η Βιομηχανική Επανάσταση. Με τον όρο Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται η ιστορική περίοδος, κατά την οποία επέρχεται ποιοτική μεταβολή των παραγωγικών δυνάμεων της κοινωνίας (μέσα παραγωγής και εργατική δύναμη) και των παραγωγικών σχέσεων (σχέσεις παραγωγής-σχέσεις διανομής). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να προκαλούνται ραγδαίες τεχνικές, οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές μεταβολές στην κοινωνία. Διακρίνονται τέσσερις τέτοιες ιστορικές περιόδους (Βιομηχανικές Επαναστάσεις). Η 1η Βιομηχανική Επανάσταση (1770-1860) αφορούσε στην εκμηχάνιση της παραγωγής με αποκορύφωμα την ατμομηχανή, η 2η (1870-1970) χαρακτηρίστηκε από τον εξηλεκτρισμό της παραγωγής, η 3η (1970-2000) από την ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορίας και επικοινωνίας, την αυτοματοποίηση της παραγωγής και τη χρήση υπολογιστών στην παραγωγή και, τέλος, η 4η (2000-) διασυνδέει ανθρώπους και μηχανές με ευφυείς τεχνολογίες και χαρακτηρίζεται από την εισαγωγή

της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN), της επιστήμης των δεδομένων, τη χρήση των ρομπότ στη βιομηχανική παραγωγή, αλλά και στις υπηρεσίες.

Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση, της οποίας η έναρξη χρονολογείται από το 2000 (κατ' άλλους το 2010), είναι η συνένωση πολλαπλών διαφορετικών τεχνολογιών και η εφαρμογή τους στη βιομηχανική παραγωγή. Αυτό αποτελεί ένα νέο επίπεδο ανάπτυξης των παραγωγικών δυνάμεων και ολοκλήρωσης της παραγωγικής διαδικασίας. Οι τέσσερις πυλώνες, στους οποίους στηρίζεται η 4η Βιομηχανική Επανάσταση, είναι τα νέα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας –τα 5G-, που αυξάνουν την ταχύτητα μεταφοράς της πληροφορίας και μειώνουν σημαντικά την υστέρηση, ο παγκόσμιος ιστός πραγμάτων (world wide web of things) [μετονομασία του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things, IoT)], τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) και η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN, Artificial Intelligence, AI).

Τεχνητή Νοημοσύνη

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) είναι κλάδος της πληροφορικής επιστήμης, που ασχολείται με τη σχεδίαση και την κατασκευή ευφυών (νοημόνων) υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία μπορούν να μιμηθούν τις νοητικές λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου, όπως μάθηση, επίλυση προβλημάτων, κατανόηση από συμφραζόμενα, προσαρμοστικότητα, εξαγωγή συμπερασμάτων. Η Τεχνητή Νοημο-



Σχήμα 1. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN, AI) και οι κλάδοι αυτής [Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) και Βαθιά Μάθηση (Deep Learning)].

σύνη διακρίνεται στην Περιορισμένη ή Αδύναμη (Narrow ή Weak) και την Ισχυρή (Strong) ή Τεχνητή Γενική Νοημοσύνη (Artificial General Intelligence). Η Περιορισμένη ή Αδύναμη Τεχνητή Νοημοσύνη περιέχει δύο υποσύνολα (υποπεδία), τη Μηχανική Μάθηση και τη Βαθιά Μάθηση (Σχήμα 1).

Οι εργασίες της Μηχανικής Μάθησης ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με τη φύση του εκπαιδευτικού «σήματος» ή την «ανατροφοδότηση», που είναι διαθέσιμα σε ένα σύστημα εκπαίδευσης:

- 1) Στην υπό επίβλεψη (ή εποπτευόμενη) μάθηση (supervised learning),
- 2) Στη χωρίς επίβλεψη (ή μη εποπτευόμενη) μάθηση (not supervised learning) και
- 3) Στην ενισχυμένη μάθηση (reinforced learning).

Στην περίπτωση της εποπτευόμενης μάθησης (supervised learning), η μηχανή εκπαιδεύεται για να πραγματοποιήσει μια συγκεκριμένη εργασία, όπως, π.χ. να αναγνωρίσει ένα συγκεκριμένο στοιχείο στις εικόνες. Αυτό απαιτεί την τροφοδότηση του συστήματος με μία μεγάλη ποσότητα δεδομένων, χιλιάδων εικόνων, που περιέχουν το συγκεκριμένο στοιχείο ή όχι. Στην εποπτευόμενη (ή υπό επίβλεψη)

μάθηση, οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν ένα σύνολο δεδομένων, που επισημαίνονται από τον άνθρωπο, για την πρόβλεψη του επιθυμητού και γνωστού αποτελέσματος. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για προβλήματα, όπως αυτό της ταξινόμησης με την αντιστοίχιση των δεδομένων σε κατηγορίες (κλάσεις) και της παλινδρόμησης, όπου τα αποτελέσματα είναι συνεχή και μη διακριτά.

Ωστόσο, η μέθοδος απαιτεί πολλά δεδομένα και είναι χρονοβόρα, επειδή τα δεδομένα πρέπει να επισημαίνονται από τους ανθρώπους. Η εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning) υπονοεί, επίσης, ότι το μηχανήμα ελέγχεται, για να διαπιστωθεί εάν δίνει τη σωστή απάντηση για κάθε εικόνα που αναλύει κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Αυτή η διαδικασία αποτελεί την επικύρωση του συστήματος και συνίσταται στην επιβεβαίωση της αποδοτικότητάς του και στον έλεγχο τυχόν ύπαρξης σφαλμάτων. Η εποπτευόμενη μάθηση χρησιμοποιείται κυρίως για εργασίες που απαιτούν την ταξινόμηση των πληροφοριών. Στην ταξινόμηση, τα δεδομένα εισόδου χωρίζονται σε δύο ή περισσότερες κλάσεις και η μηχανή πρέπει να κατασκευάσει ένα μοντέλο, το οποίο θα αντιστοιχίζει τα δεδομένα σε μία ή περισσότερες (πολλαπλής σήμανσης ταξινόμηση) κλάσεις. Αυτό, συνήθως, εμπίπτει στην επιτη-

ρούμενη μάθηση. Ένα παράδειγμα ταξινόμησης είναι τα φίλτρα spam (ανεπιθύμητα), όπου οι είσοδοι είναι τα emails ή άλλα μηνύματα και κλάσεις (κατηγορίες) είναι "spam" και "όχι spam". Στη μη επιτηρούμενη μάθηση (not supervised learning), δεν δίνεται κανένα στοιχείο εκ των προτέρων και τα δεδομένα παραμένουν χωρίς επισήμανση, π.χ. κουκίδα ή μη κουκίδα. Το πρόγραμμα είναι ελεύθερο να βρει τις δικές του συσχετίσεις στα δεδομένα, αν είναι κουκίδα ή όχι. Μαθαίνοντας από τα παρεχόμενα δεδομένα, το μηχάνημα θα δημιουργήσει δικά του συμπλέγματα και θα προσφέρει άπειρους συσχετισμούς με βάση τα δεδομένα αυτά. Στην ομαδοποίηση (clustering), ένα σύνολο εισόδων πρόκειται να χωριστεί σε ομάδες. Σε αντίθεση με την ταξινόμηση, οι ομάδες δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων, καθιστώντας αυτόν το διαχωρισμό τυπική εργασία μη επιτηρούμενης μάθησης. Επίσης, δεν μοιράζονται τη σκοπιμότητα του εγχειρήματος με το χειριστή τους, ενώ απέχουν ακόμη από την κοινή λογική. Η ενισχυμένη μάθηση (reinforced learning) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υβρίδιο της εποπτευόμενης και της μη εποπτευόμενης μάθησης. Ο στόχος της ενισχυμένης μάθησης είναι η μεγιστοποίηση της ακρίβειας των αλγορίθμων με τη χρήση δοκιμών και τον έλεγχο σφαλμάτων.^{1,2} Πρέπει να γίνει κατανοητό, ότι η ΤΝ, που βασίζεται σε δεδομένα, μπορεί να εκτελεί μία μόνο εργασία κάθε φορά και δεν μπορεί –επί του παρόντος– να μεταφέρει τις γνώσεις που παράγονται. Η Βαθιά Μάθηση (Deep Learning) μιμείται τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, χρησιμοποιώντας πολλαπλά στρώματα (στιβάδες) τεχνητών νευρωνικών δικτύων, που μπορούν από την είσοδο δεδομένων να παράγουν, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, αυτοματοποιημένες προβλέψεις. Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, δομημένα σε πολλαπλά επίπεδα, μπορούν να αποκωδικοποιήσουν ακατέργαστα δεδομένα και να δημιουργήσουν νέα χαρακτηριστικά υψηλότερου επιπέδου. Διανύουμε την περίοδο της Περιορισμένης ή Αδύναμης Τεχνητής Νοημοσύνης (Narrow or Weak Artificial Intelligence).¹ Ισχυρή Τεχνητή Νοημοσύνη (Strong AI) ή Τεχνητή Γενική Νοημοσύνη (Artificial General Intelligence, AGI), ικανή να εμφανίζει στοιχεία ανθρώπινης νοημο-

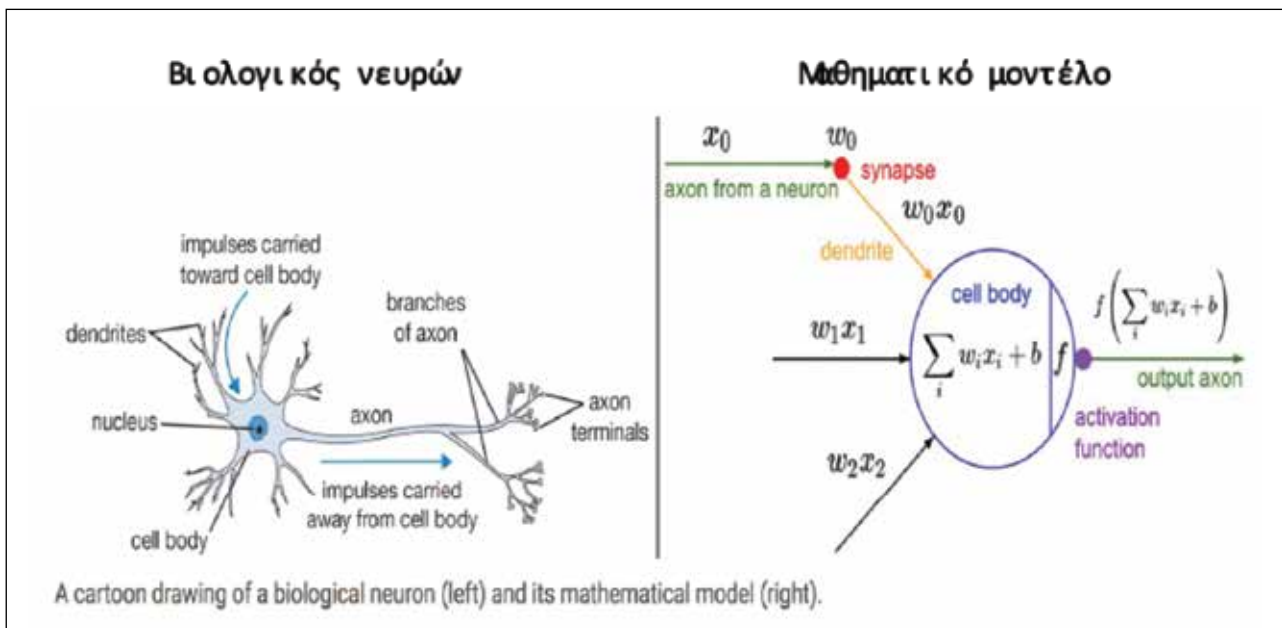
σύνης και κοινής λογικής, δηλαδή ένα επίπεδο ευφυΐας αντίστοιχο του ανθρώπινου, και η οποία να μπορεί να θέσει τους δικούς της στόχους, δεν είναι προς το παρόν εφικτή. Και αυτό, γιατί κάθε επιστημονικός κλάδος –οι φυσικοί, οι μαθηματικοί, οι νευροεπιστήμονες– εστιάζει σε ένα διαφορετικό επιστημονικό άλμα ως καταλυτικό για την επίτευξη της AGI. Δεν υπάρχει ομοφωνία. Στο 32ο συνέδριο (2018) του NeurIPS (Neural Information Processing Systems – Συστήματα Επεξεργασίας Νευρικών Πληροφοριών), το μεγαλύτερο διεθνές συνέδριο για τη μηχανική μάθηση, επώθηκε ότι ο μέσος όρος των προβλέψεων για την έλευση της Τεχνητής Γενικής Νοημοσύνης είναι 60-70 χρόνια.

Τεχνητή Νοημοσύνη και Ιατρική

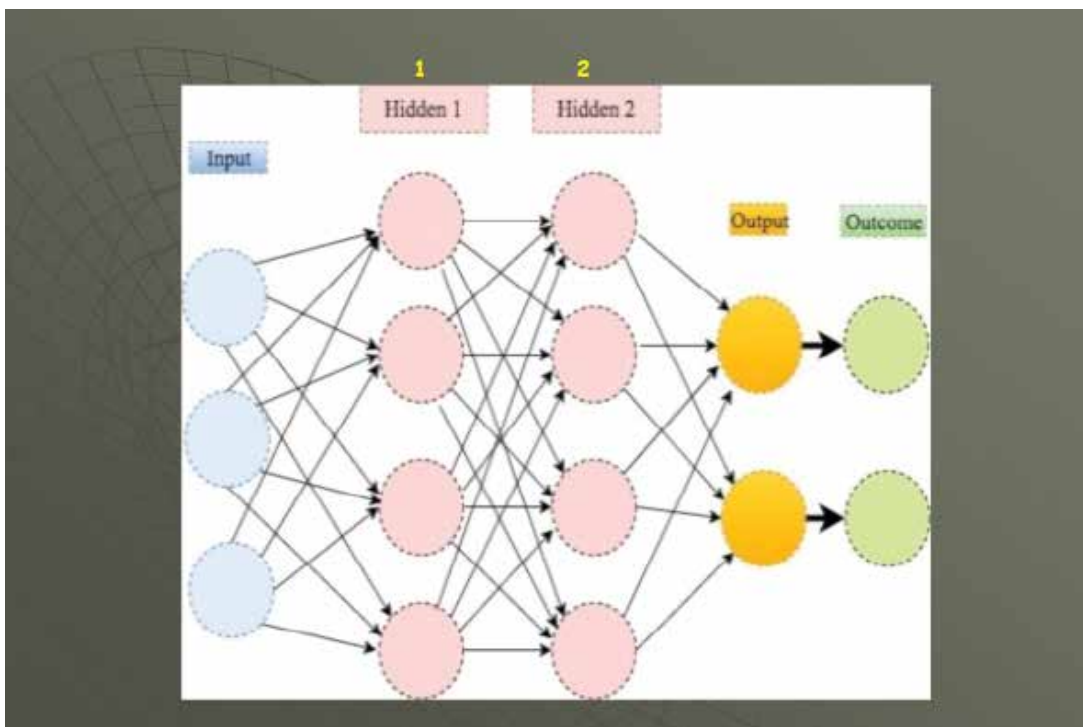
Η σύγχρονη Ιατρική αναπτύσσεται έχοντας δύο κύριες κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι η συνεχής αναζήτηση γνώσεων για τη διάγνωση και την αντιμετώπιση των διαφόρων νόσων, οι οποίες (γνώσεις) μπορούν να εφαρμοσθούν στην κλινική ιατρική πράξη βάσει τεκμηριωμένων αποδείξεων (Evidence based-medicine) και τη χρήση κατευθυντηρίων οδηγιών (Guidelines). Η δεύτερη κατεύθυνση είναι η εφαρμογή της προσωποποιημένης Ιατρικής, όπου οι νέες γνώσεις τροποποιούνται κατά την εφαρμογή τους στον κάθε άρρωστο ξεχωριστά, ανάλογα με τη γονιδιακή του σύνθεση, τα ιδιαίτερα δικά του περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και τον τρόπο της ζωής του (Προσωποποιημένη Ιατρική ή Ιατρική Ακρίβειας).^{3,4} Το κύριο χαρακτηριστικό των τελευταίων ετών είναι η αλματώδης αύξηση των διαθέσιμων πληροφοριών (δεδομένων). Αυτό δημιουργεί σημαντικό πρόβλημα πρόσβασης και αξιοποίησης όλων των νέων γνώσεων. Η ανθρώπινη εμπειρία δυσκολεύεται να διαχειριστεί τον τεράστιο όγκο των δεδομένων και να δημιουργήσει νέες γνώσεις σε εύλογο χρονικό διάστημα. Η Τεχνητή Νοημοσύνη έρχεται να αντιμετωπίσει τα παραπάνω προβλήματα. Με τη χρήση βασικών και προχωρημένων αλγορίθμων, ερευνά τη δομή πλήθους δεδομένων και αναζητεί νέες γνώσεις, κινούμενη κατά μίμηση των ανθρώπινων γνωστικών λειτουργιών, όπως η κατανόηση, η γλώσσα, η αναγνώριση ήχων και αντικειμένων, η μάθηση

και η επίλυση προβλημάτων. Ο όρος “Μηχανική Μάθηση” (Machine Learning) αποτελεί κλάδο της Τεχνητής Νοημοσύνης, συγκροτείται με αλγορίθμους και αναφέρεται στις ιδιότητες ενός υπολογιστικού συστήματος που λύνει προβλήματα και που «μαθαίνει» βελτιώνοντας τις γνώσεις και τη συμπεριφορά του, αναλύοντας νέα δεδομένα με τη βοήθεια αλγορίθμων, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω προγραμματισμού. Στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, η μάθηση λογίζεται ως η ικανότητα χρήσης της εμπειρίας, μέσα από τα δεδομένα για τη βελτίωση της γνωστικής συμπεριφοράς της. Αυτή η νέα γενιά ΤΝ έχει απόλυτη ανάγκη καταχώρησης των δικών μας δεδομένων. Ο όρος “Βαθιά Μάθηση” (Deep Learning) είναι ο κλάδος αιχμής της “Μηχανικής Μάθησης”, που επίσης εντάσσεται στην ευρεία κατηγορία της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η Βαθιά Μάθηση συγκροτείται από αλγορίθμους, που βασίζονται σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks), δομημένα σε πολλαπλά επίπεδα (στιβάδες), τα οποία τείνουν να μιμηθούν τα δίκτυα του ανθρώπινου εγκεφάλου, επεξεργαζόμενα τεράστιο όγκο δεδομένων, συσχετίζοντάς τα μεταξύ τους, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων, νέων συσχετίσεων ή ακόμα και περίπλοκων προβλέψεων. Η βαθιά μάθηση μπορεί να είναι πολύ ισχυρή σχετικά με την αναγνώριση εικόνων (π.χ. αναγνώριση προσώπου στο Facebook, αναζήτηση εικόνων στη Google) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην καρδιαγγειακή απεικόνιση [π.χ. δισδιάστατη ή τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία παρακολούθησης στίγματος (2D or 3D speckle tracking echocardiography), αγγειογραφία, καρδιακός μαγνητικός συντονισμός]. Μπορεί, επίσης, να εκπαιδεύεται με μη επιτηρούμενο τρόπο, για δραστηριότητες μάθησης χωρίς επίβλεψη (π.χ. νέα φάρμακα, αλληλεπίδραση φαρμάκων, επαναπροσδιορισμός φαρμάκων), ενώ, παράλληλα, δεν υπάρχει περιορισμός στη μνήμη εργασίας. Λειτουργεί επίσης καλά και σε δεδομένα με θόρυβο, όπως είναι τα δεδομένα που λαμβάνονται από την παρακολούθηση στίγματος (κηλίδας) με την τρισδιάστατη υπερηχοκαρδιογραφία (3D speckle tracking echocardiography) και από την απεικόνιση της παραμόρφωσης (strain).¹

Κύριο χαρακτηριστικό είναι η ταχύτητα με την οποία διεκπεραιώνουν τις διεργασίες και η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του ανθρώπου. Έχει υπολογιστεί, ότι μία ανάλογη διεργασία από τον άνθρωπο επιλύει 1-2 διερευνήσεις την εβδομάδα, ενώ η μηχανή περισσότερες από 10.000 στον ίδιο χρόνο.⁵ Το πρόγραμμα TOP500 (1993), που κατατάσσει και απαριθμεί τα 500 ισχυρότερα συστήματα υπολογιστών στον κόσμο, θεωρεί ότι από τον Ιούνιο 2020 το ιαπωνικό Fugaku είναι ο ισχυρότερος και ταχύτερος υπερυπολογιστής στον κόσμο. Η συγκρότηση της Μηχανικής Μάθησης γίνεται με αλγορίθμους που κρίνονται αναγκαίοι για την εκπλήρωση μιας αποστολής ή την επίτευξη ενός ειδικού στόχου. Οι αλγόριθμοι δημιουργούνται με βάση περιελκτικά νευρωνικά δίκτυα, δίκτυα Bayes, δένδρα αποφάσεων, λογιστική παλινδρόμηση κ.ά. Ανάλογα με το γνωστικό πεδίο που διερευνάται, εφαρμόζεται ο συνδυασμός των καταλληλότερων αλγορίθμων από το σύνολο υπαρχόντων. Καταλληλότεροι αλγόριθμοι προς χρήση στην Ιατρική φαίνεται να είναι οι βασιζόμενοι σε νευρωνικά δίκτυα, τα οποία τείνουν να μιμηθούν τα δίκτυα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η νευροεπιστήμη έχει δείξει, ότι οι ανθρώπινες νοητικές ικανότητες βασίζονται στην ενεργοποίηση σύνθετων νευρωνικών δικτύων στον εγκέφαλό μας, που απαρτίζεται από 86 δισεκατομμύρια νευρώνες.^{6,7} Τα νευρωνικά δίκτυα του ανθρώπινου εγκεφάλου υπολογίζονται σε ένα ή περισσότερα δισεκατομμύρια. Αυτά τα νευρωνικά δίκτυα είναι σε θέση να αποθηκεύουν πληροφορίες και γνώσεις και -κατά συνέπεια- να παρέχουν το απαραίτητο υλικό για μάθηση. Εμπνευσμένοι από αυτήν τη διαδικασία, οι προγραμματιστές δημιούργησαν τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ). Σε ένα ΤΝΔ, ένας μεγάλος αριθμός μονάδων (τεχνητοί νευρώνες) συνδέονται μεταξύ τους σε διαφορετικά επίπεδα (στιβάδες) για να δημιουργήσουν ένα πολύπλοκο δίκτυο αλληλεπιδράσεων. Σε αυτά τα ΤΝΔ εισάγονται δεδομένα υπό μορφή σημάτων εισόδου, που μπορεί να είναι ψηφιοποιημένα αρχεία ιατρικών υπηρεσιών, αρχεία ασφαλιστικών οργανισμών υγείας, συστήματα καταγραφής στοιχείων για ορισμένες νόσους από ομάδες ιατρών, καθώς και μεγάλος αριθμός παραδειγμάτων προηγούμενων αναλύσε-



Σχήμα 2Α. Σχεδιάγραμμα βιολογικού (αριστερά) και τεχνητού νευρώνα (δεξιά).



Σχήμα 2Β. Σχεδιάγραμμα τεχνητού νευρώνα με δύο απόκρυφες στιβάδες.

ων. Τα δεδομένα, ακολουθώντας, μεταβιβάζονται ως σήματα μέσω των τεχνητών νευραξόνων εισόδου της μηχανής σε συνάψεις άλλων ενδιάμεσων τεχνητών («νευρώνων») οργανωμένων σε στιβάδες, τις αποκαλούμενες και «απόκρυφες», όπου γίνεται η επεξεργασία τους, αναγνωρίζονται συλλογικές ιδιότητες των δεδομένων και, στο τέλος, εξέρχονται από το δίκτυο ως σήματα εξόδου (Σχήμα 2 Α,Β). Η βασική πτυχή του ΤΝΔ είναι ότι το πρόγραμμα είναι σε θέση να τροποποιήσει τις αλληλεπιδράσεις στο δίκτυο, έως ότου παράξει το αναμενόμενο αποτέλεσμα, παρέχοντας στις μηχανές μάθησης τη δυνατότητα να εκπαιδεύονται και να μαθαίνουν. Στο επόμενο στάδιο, γίνεται η επιβεβαίωση της αποδοτικότητάς του και ο έλεγχος ύπαρξης σφαλμάτων. Βασική γνώση είναι ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος των εισαγόμενων στοιχείων τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό σφάλματος. Στη συγκρότηση των μηχανών μάθησης μετέχουν επιστήμονες πληροφορικής, ειδικευμένοι στον κλάδο της ΤΝ. Η εξέλιξη της ΤΝ έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη της συνεργασίας και άλλων επιστημόνων, με διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα (νευροεπιστήμονες, φυσικοί, μαθηματικοί, γενετιστές, βιοτεχνολόγοι). Απαραίτητη κρίνεται και η συνεργασία με ιατρούς που επιβλέπουν τους αλγορίθμους και επιμερίζονται την ευθύνη για ενδεχόμενα σφάλματα στην απόδοση της μηχανής.

Αναμένεται να επεκταθεί αυτή η μορφή της διεπιστημονικής συνύπαρξης και της συλλογικής έκφρασης για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων, που θα ανακύπτουν με τη χρήση τέτοιων σύμπλοκων υπολογιστικών συστημάτων. Την τελευταία δεκαετία, η Τεχνητή Νοημοσύνη με τους κλάδους της [Μηχανική μάθηση (Machine Learning) και Βαθιά μάθηση (Deep Learning)], συνδυαστικά και με τους άλλους πυλώνες που χαρακτηρίζουν την 4η Βιομηχανική Επανάσταση, χρησιμοποιείται και στην Ιατρική και αφορά σε όλα τα γνωστικά αντικείμενα αυτής.

Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική

Αφορούν σε διάφορους τομείς, όπως είναι:

1. Η αξιολόγηση των προσυμπτωματικών βλα-

- βών από τη Στεφανιαία Υπολογιστική Τομογραφική Αγγειογραφία (Coronary Computed Tomography Angiography - CCTA) με ενσωματωμένο μοντέλο μηχανικής μάθησης, που χρησιμοποιεί δεδομένα τόσο από στενώσεις στα 16 καθιερωμένα τμήματα των στεφανιαίων αρτηριών όσο και από τη σύνθεση της αθηρωματικής πλάκας. Η εξέταση αυτή έχει καλύτερη προγνωστική ακρίβεια (77%) από τις τρέχουσες ολοκληρωμένες βαθμολογίες κινδύνου της συμβατικής στεφανιαίας αξονικής τομογραφίας (που κυμαίνεται από 68-70%, $p < 0.001$) και βοηθάει στην καλύτερη διαστρωμάτωση κινδύνου αυτών των ατόμων, όπως αυτό καταδείχθηκε στην CONFIRM Registry, με συμμετοχή 8.844 ασθενών και με παρακολούθηση 4.6 χρόνια.⁸
2. Η πρόβλεψη για την εμφάνιση νόσου νωρίτερα, πριν αυτή εκδηλωθεί (π.χ. οξείας νεφρικής βλάβης 48 ώρες πριν)⁹ ή αρκετά χρόνια πριν τη διάγνωση, όπως της νόσου Alzheimer.¹⁰
3. Η εκτίμηση του μελλοντικού κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου, κατά την προσεχή δεκαετία, με τη χρήση του αλγορίθμου Qrisk3, σε βάση δεδομένων από 7.890.000 άτομα ηλικίας 25-85 ετών, εκ των οποίων τα 263.565 άτομα είχαν νοσήσει από καρδιαγγειακά νοσήματα.¹¹
4. Η πρόγνωση συμπτωματικών νόσων.¹²
5. Η στήριξη μεταβολών στη θεραπευτική αγωγή και μέτρων επιβράδυνσης προσυμπτωματικών εξελικτικών βλαβών.¹³
6. Η ανάπτυξη και εφαρμογή των καταλληλότερων, από πλευράς αιμοδυναμικής συμπεριφοράς, διακαθετηριακών βαλβίδων μέσω των εμπειριών υπολογιστικών συστημάτων (expert systems).¹⁴
7. Η λεπτομερής, αναπαραγωγίμη ανάλυση της δομής των βαλβίδων με πολύ μικρή πλέον συμμετοχή του εξετάζοντος.¹⁵
8. Η αξιολόγηση αποτελεσμάτων εργαστηριακών εξετάσεων (ακτινολογικών, παθολογοανατομικών).
9. Η ανίχνευση, ταξινόμηση και διαφορική διάγνωση ασθενειών, μέσω της μελέτης ιατρικών απεικονιστικών εξετάσεων.^{16,17,18} Η πλατφόρμα IBM Watson for Oncology (WFO) είναι τεχνολογία αιχμής, που αξιοποιεί την τεχνητή νοημοσύνη

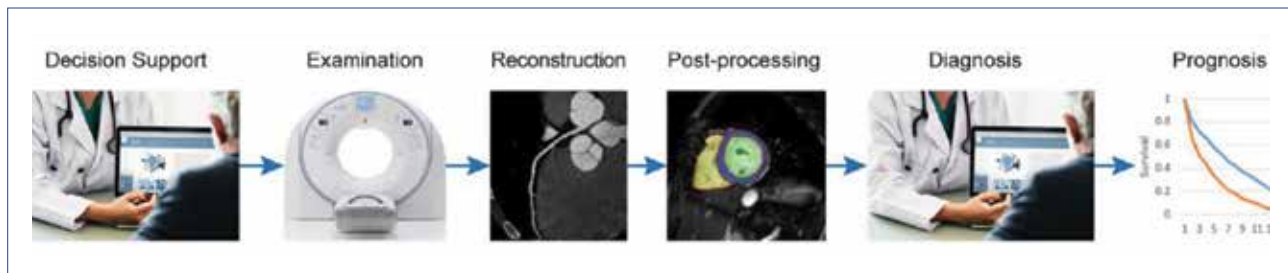
Πίνακας I: Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Ιατρική

1. Αξιολόγηση προσυμπτωματικών βλαβών των στεφανιαίων αρτηριών.
2. Πρόβλεψη για την εμφάνιση νόσου.
3. Εκτίμηση του μελλοντικού κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου.
4. Πρόγνωση της εξέλιξης συμπτωματικών νόσων ή προσυμπτωματικών βλαβών.
5. Ανάπτυξη και εφαρμογή των καταλληλότερων, από πλευράς αιμοδυναμικής συμπεριφοράς, διακαθετηριακών βαλβίδων.
6. Λεπτομερής και αναπαραγωγίμη ανάλυση της δομής των βαλβίδων με πολύ μικρή συμμετοχή του εξετάζοντος.
7. Στήριξη μεταβολών ή τροποποίησης της θεραπευτικής αγωγής και μέτρων επιβράδυνσης προσυμπτωματικών εξελικτικών βλαβών.
8. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων εργαστηριακών ή απεικονιστικών εξετάσεων (ακτινολογικών, οφθαλμολογικών, γαστρεντερολογικών, παθολογοανατομικών).
9. Υποβοήθηση στη διάγνωση, στην επιλογή της κατάλληλης εξέτασης και της θεραπείας.
10. Αυτοματοποιημένη αναγνώριση απεικονιστικών προβολών, μέτρηση παραμέτρων καρδιακής λειτουργίας [όγκοι, κλάσμα εξώθησης (ΚΕ) και παραμόρφωση (strain) αριστερής κοιλίας] και διάγνωση διαφόρων παθήσεων.

και συμβάλλει στην ολοκληρωμένη επιλογή θεραπείας για τον καρκίνο. Το εν λόγω σύστημα ενημερώνεται και "εκπαιδεύεται" από διακεκριμένους ογκολόγους, με όλες τις νέες γνώσεις, ώστε να είναι απολύτως επικαιροποιημένο. Ο ογκολόγος ιατρός έχει στη διάθεσή του ένα σύγχρονο συμβουλευτικό «εργαλείο», καθώς μπορεί να εισάγει όλα τα στοιχεία, τις εξετάσεις και τα δεδομένα που αφορούν στον ασθενή του και να λαμβάνει, σε ελάχιστα δευτερόλεπτα, την πλέον έγκυρη και ολοκληρωμένη πρόταση θεραπείας του καρκίνου (Πίνακας I). Η ΤΝ μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τους ιατρούς, ιδίως στα νοσοκομεία που έχουν φόρτο εργασίας, στην ακρίβεια και στην ταχύτητα των διαγνώσεων, ιδιαίτερα στα εργαστήρια και στο Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών (ΤΕΠ). Προς το παρόν, η Τεχνητή Νοημοσύνη εμφανίζει μεγαλύτερη διαγνωστική ακρίβεια έναντι των ανθρωπίνων διαγνώσεων,^{19,20} αλλά όχι σε στατιστικά σημαντικό επίπεδο.^{19,20,21} Συγκριτικά, οι καλύτεροι σήμερα ιατρικοί αλγόριθμοι επιτυγχάνουν ευαισθησία 87% και ειδικότητα 92,5% στις διαγνώσεις τους, έναντι 86% και 90,5% των επαγγελματιών υγείας, αντίστοιχα.²¹

ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Πρόσφατα αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι χαρακτηρισμού δεδομένων με βάση νευρωνικά δίκτυα βαθιάς μάθησης και έχουν οδηγήσει σε πιο εξελιγμένα μοντέλα radiomics, που είναι μια διαδικασία εξαγωγής πολλών ποσοτικών χαρακτηριστικών από μια δεδομένη περιοχή ενδιαφέροντος απεικονιστικής εξέτασης, για τη δημιουργία μεγάλων συνόλων δεδομένων, όπου κάθε ανωμαλία περιγράφεται από εκατοντάδες παραμέτρους.^{22,23,24} Η αύξηση των δεδομένων απεικόνισης και η δυνατότητα εντοπισμού ευρημάτων, που δεν μπορεί να ανιχνεύσει ο άνθρωπος, μετατρέπει την ιατρική απεικόνιση από μια υποκειμενική αντιληπτική ικανότητα σε μια αντικειμενική επιστήμη.²⁵ Αντίστοιχη πλατφόρμα χρησιμοποιείται για τη διαδικασία εξαγωγής δεδομένων από μία υπερηχοκαρδιογραφική απεικόνιση. Η νέα σειρά μηχανημάτων καρδιαγγειακής απεικόνισης



Εικόνα 1. Επίδραση της ΤΝ σε όλα τα στάδια της αλυσίδας απεικόνισης.²⁶

έχει ενσωματωμένη τεχνολογία ΤΝ, η οποία επιδρά σε όλα τα στάδια της αλυσίδας απεικόνισης (επιλογή της κατάλληλης διαγνωστικής μεθόδου, ανακατασκευή εικόνας, επεξεργασία δεδομένων, διάγνωση και εντόπιση σχετικών προγνωστικών πληροφοριών από την καρδιακή απεικόνιση).²⁶

Πιο συγκεκριμένα:

-Υπερηχοκαρδιογραφία

Αναπτύχθηκε αλγόριθμος μηχανικής μάθησης, που αυτοματοποιεί διάφορες πτυχές της μέτρησης και της ερμηνείας της υπερηχοκαρδιογραφικής μελέτης.²⁷ Συγκεκριμένα, στη νέα γενιά υπερηχοκαρδιογραφικών μηχανημάτων, η ενσωματωμένη ΤΝ επιτυγχάνει μείωση του χρόνου της εξέτασης και του χρόνου συμμετοχής του εξετάζοντος, αύξηση της ακρίβειας (καλύτερος χαρακτηρισμός της ασθένειας και εξατομίκευση της θεραπείας), αυτοματοποιημένη αναγνώριση απεικονιστικών προβολών, κατάτμηση της ληφθείσας εικόνας, ποσοτικοποίηση της δομής, αυτοματοποιημένες μετρήσεις (όγκοι, ΚΕ, strain) και αυτοματοποιημένες διαγνώσεις^{28,29,30,31} (Πίνακας Ι). Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης θα διευκολύνουν, επίσης, τη χρήση καρδιαγγειακής απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο, με καλύτερη χωρική και χρονική ανάλυση, ενδεχομένως βελτιώνοντας την ποιότητα της φροντίδας και μειώνοντας το κόστος.^{1,2}

-Μαγνητική τομογραφία καρδιάς

Στη νέα γενιά μηχανημάτων MRI, η ενσωματωμένη ΤΝ μπορεί να επιτύχει μείωση του χρόνου εκτέλεσης της εξέτασης και μεγαλύτερη ακρίβεια έναντι της συμβατικής. Βραχυπρόθεσμα, η χρήση

της ΤΝ στην καρδιακή MRI θα είναι βοηθητική στο έργο των ιατρών και θα εστιάζεται στην αυτοματοποιημένη κατάτμηση της αριστερής κοιλίας και τον αυτοματοποιημένο υπολογισμό των παραμέτρων.²⁶

-Σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου

Η χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων στο σπινθηρογράφημα μυοκαρδίου αυξάνει την ευαισθησία και την ακρίβεια της εξέτασης, συγκριτικά με τη συμβατική εξέταση, όσον αφορά στην ανάδειξη των ελλειμμάτων, που παρατηρούνται είτε στην ηρεμία είτε και στη δοκιμασία κόπωσης λόγω ισχαιμίας.²⁶

-Στεφανιαία Υπολογιστική Τομογραφική Αγγειογραφία (CCTA)

Με την εκπαίδευση ενός μοντέλου βαθιάς μάθησης, με περιελκτικά (σπειροειδή) νευρωνικά δίκτυα, επιτυγχάνεται η αυτόματη ανίχνευση και ταξινόμηση της αθηρωματικής πλάκας, η αυτόματη μείωση του θορύβου, διατηρώντας άριστη εικόνα απεικόνισης, η λήψη εικόνων CT με μειωμένες δόσεις ακτινοβολίας, η απεικόνιση ασβέστωσης στεφανιαίων αρτηριών, ο υπολογισμός της βαθμολογίας ασβεστίου στεφανιαίας αρτηρίας και η αυτοματοποιημένη κατάτμηση της αριστερής κοιλίας από στεφανιαία CT, που είναι εφικτή και αξιόπιστη επιλογή. Επίσης, βοηθάει στη διαστρωμάτωση του κινδύνου σε άτομα με υποκλινική στεφανιαία αθηροσκλήρωση και στη διάγνωση και θεραπεία της στεφανιαίας νόσου (Στεφανιαία Υπολογιστική Τομογραφική Αγγειογραφία – CCTA Βαθμός σύστασης: Ι, Επίπεδο επιστημονικής τεκμηρίωσης: Β - Κατευθυντήριες Οδηγίες 2019).^{26,32,33,34,35} Ελέγχεται, επίσης,

με την ανωτέρω εξέταση και τη χρήση κατάλληλου νευρωνικού δικτύου TN, η ύπαρξη φλεγμονής των στεφανιαίων αγγείων με τη μέτρηση αυξημένων τιμών του περιαγγειακού δείκτη εξασθένησης λίπους (FAI-Fat Attenuation Index), που παρατηρείται σε ασθενείς με MINOCA (Myocardial Infarction with NonObstructive Coronaries Arteries) και σύνδρομο Tako-Tsubo.^{36,37}

-Στεφανιογραφική Υπολογιστική Τομογραφική Αγγειογραφία (CCTA) και Κλασματική Εφεδρεία Ροής (HEART FLOW FFRCT).

Γίνεται εκτίμηση της σοβαρότητας τυχόν υπάρχουσών στενώσεων. Ακολούθως, με ενσωματωμένο σύστημα τεχνητής νοημοσύνης, γίνεται εφαρμογή ενός μαθηματικού αλγορίθμου, που προσομοιώνει τη ροή του αίματος για τον αναίμακτο υπολογισμό του FFR (Fractional Flow Reserve - Κλασματική Εφεδρεία Ροής). Αντικατοπτρίζει με ακρίβεια το αιμοδυναμικό FFR και έχει καλή συσχέτιση το FFRCT, με τιμή ≤ 80 , με την εμφάνιση MACE (Major Adverse Cardiac Events - Σημαντικών Ανεπιθύμητων Καρδιακών Επεισοδίων) (ADVANCE Registry).³⁸

- Heart Flow FFR-CT Planner

Πρόσφατα (11/2019), εγκρίθηκε από το FDA η χρήση λογισμικού με τον κατάλληλο αλγόριθμο, για να γίνει προσομοίωση της ροής του αίματος, που θα προκύψει μετά από εικονική επαναγγείωση μιας στένωσης, προβλέποντας εκ των προτέρων την αιμοδυναμική επίδραση της αγγειοπλαστικής που πρόκειται να γίνει σε αυτήν τη στένωση (HEART FLOW PLANNER).

Εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης στην αλυσίδα απεικόνισης

Η συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης στην αλυσίδα της ιατρικής απεικόνισης καθίσταται σημαντική και περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Εικόνα 1).²⁶

- Το πρώτο βήμα είναι η υποστήριξη στη λήψη απόφασης για την επιλογή της κατάλληλης διαγνωστικής μεθόδου απεικόνισης.
- Επί του παρόντος, η υγειονομική περίθαλψη

προωθεί συνεχώς τη λήψη αποφάσεων, βάσει αποδεδειγμένων στοιχείων, και τη χρήση κατευθυντήριων γραμμών.

- Τα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων, που βασίζονται στην TN, μπορούν να βοηθήσουν στην επιλογή της καταλληλότερης δοκιμασίας απεικόνισης για μεμονωμένους ασθενείς. Ήδη, πλέον, κυκλοφόρησαν στην αγορά τα πρώτα εμπορικά προϊόντα που εφαρμόζουν Μηχανική Μάθηση κατά την εξέταση του ασθενούς.^{30,39}
- Στο επόμενο βήμα, και συγκεκριμένα μετά την απόκτηση των δεδομένων, η TN εφαρμόζεται στην ανακατασκευή της εικόνας (π.χ. με τη χρήση υπολογιστικής τομογραφίας χαμηλής δόσης για την επίτευξη βέλτιστης ανατομικής αναδόμησης),^{32,33} την ερμηνεία και τη διάγνωση της απεικόνισης (π.χ. διάγνωση μυοκαρδιακού εμφράγματος σε υπερηχοκαρδιογράφημα).⁴⁰
- Το τελικό βήμα στην αλυσίδα απεικόνισης είναι να αναγνωρισθούν σχετικές πληροφορίες -τόσο προγνωστικές όσο και προβλεπτικές- από την καρδιακή απεικόνιση (π.χ. πρόβλεψη ανεπιθύμητου αποτελέσματος σε ασθενείς με πνευμονική υπέρταση).^{26,41,42}

Εξατομικευμένη ή Προσωποποιημένη Ιατρική ή Ιατρική Ακρίβειας

Η Εξατομικευμένη ή Προσωποποιημένη Ιατρική είναι η μετάβαση από την ενιαία προσέγγιση για τη διάγνωση, τη θεραπεία και τη φροντίδα όλων των αρρώστων που πάσχουν από συγκεκριμένη νόσο, στη χρήση νέων προσεγγίσεων, που αποσκοπούν στη διάγνωση, στην επίτευξη άριστης έκβασης στη θεραπεία, στην καλύτερη φροντίδα της υγείας, καθώς και στην πρόληψη για κάθε άρρωστο ξεχωριστά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω στοχευμένων παρεμβάσεων, με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (γονιδιακή σύνθεση, περιβαλλοντικά στοιχεία και τρόπος ζωής) του κάθε αρρώστου.^{3,43} Η ραγδαία εξέλιξη της Τεχνολογίας της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών, καθώς και του κλάδου αυτών, της τεχνητής νοημοσύνης, έχει ως αποτέλεσμα την απόκτηση πλούσιων δεδομένων, που προέρχονται από βιομετρικά στοιχεία [από κινητή συσκευή – εφαρμογές κινητής υγείας (mHealth)- και από την



Σχήμα 3. Ο ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Καρδιαγγειακή Ιατρική.

τηλεμετρία -βιοηλεκτρομετρία-], από βιοδείκτες και από τις σημαντικές πληροφορίες, τα -omics, που λαμβάνονται από τη γονιδιωματική, την πρωτεομική και τη μεταβολομική. Επειδή οι ασθενείς αρχίζουν να απαιτούν ταχύτερη και πιο εξατομικευμένη περίθαλψη, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ενισχύσει κάθε στάδιο της φροντίδας των ασθενών, από την έρευνα και την ανακάλυψη μέχρι τη διάγνωση και την επιλογή της θεραπείας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να βελτιώσει την προβλεπτική αξία των μοντέλων της μηχανικής μάθησης και η κλινική πρακτική να γίνει πιο αποτελεσματική και πιο εξατομικευμένη.⁴⁴ Ο ρόλος της TN στην καρδιαγγειακή ιατρική εμφανίζεται εμπεριστατωμένα στο Σχήμα 3.

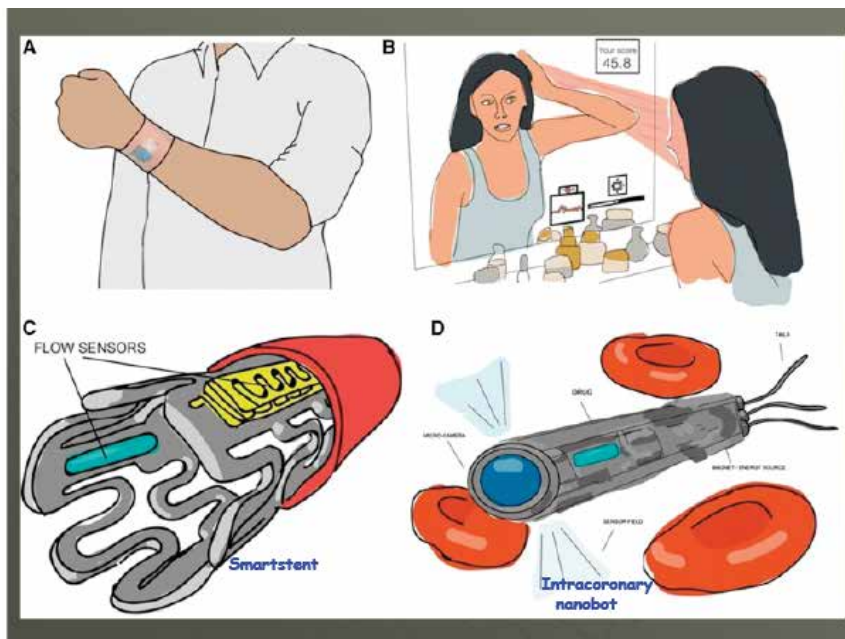
Τεχνητή Νοημοσύνη και έρευνα για τον COVID-19

Μία ερευνητική ομάδα, η Sewers4Covid, που αποτελείται από επιστήμονες από την Ελλάδα, Ολλανδία, Ισπανία και Βρετανία, ανέπτυξε ένα σύστημα για έγκαιρη ανίχνευση του ιού στα λύματα εντός αστικών περιοχών, ώστε να υπάρχει έγκαιρη παρέμβαση από τις αρχές. Η προσπάθεια συνίσταται στη λήψη δειγμάτων υγρών αποβλήτων και

με τη βοήθεια της TN και της μηχανικής μάθησης (MM) αποβλέπει στη δημιουργία ενός έξυπνου συστήματος που θα καθοδηγεί τις αποφάσεις των αρμοδίων. Μία λήψη λύματος ημερησίως για την ανίχνευση του RNA του ιού και ταυτόχρονα γίνεται η ταυτοποίηση της παρουσίας του ιού στην κοινότητα. Ακολούθως, η TN, με ειδικούς αλγορίθμους, "μεταφράζει" την τιμή που θα λαμβάνει από την ανάλυση των δειγμάτων και δείχνει τη δύναμή του στην κοινότητα. Χρειάζονται όμως πολλά δεδομένα. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο της βεντάλιας, θα μπορούμε να δούμε τη δυναμική του ιού και στα επί μέρους διαμερίσματα της πόλης. Στο άμεσο μέλλον, ο υπερυπολογιστής Fugaku –που αναφέρθηκε πιο πάνω- αναμένεται να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του COVID-19 με σκοπό τον εντοπισμό θεραπειών, "σκανάροντας" περίπου 2.000 φάρμακα, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που δεν έχουν φτάσει στο στάδιο κλινικής δοκιμής.

Τεχνητή Νοημοσύνη και ανίχνευση του ιού στην αναπνοή

Ερευνητές του ΕΦΕΚΕ "Δημόκριτος" αξιοποίησαν την οπτική τεχνική SERS (Surface Enhanced



Σχήμα 4. Το μέλλον της συνύπαρξης Τεχνητής Νοημοσύνης και Ιατρικής.

Raman Spectroscopy), που χρησιμοποιείται από πολλών ετών για την ανίχνευση ναρκωτικών ουσιών. Κατασκευάζονται φίλτρα αέρος, με υλικά που στηρίζονται στη νανοτεχνολογία (νανοδομημένα) και συλλέγουν σταγονίδια της αναπνοής. Στοιχούμε στη γρήγορη ανίχνευση του ιού σε εισόδους υποδομών και σε χώρους όπου υπάρχει συνωστισμός (νοσοκομεία, αεροδρόμια, hotspots, γήπεδα, σταθμοί, φυλακές).

Τεχνητή Νοημοσύνη και παράπλευρες απώλειες

Η ευρεία εφαρμογή της ΤΝ αναμένεται ότι θα επηρεάσει την κοινωνία, ιδίως την αγορά εργασίας, ενώ θα αυξήσει και την κοινωνική ανισότητα. Η επίδρασή της στα επαγγέλματα του ιατρού και του χειρουργού θα είναι ασήμαντη, ενώ τα επαγγέλματα που βασίζονται στο γραφείο, όπως οι λογιστές και οι ελεγκτές, έχουν μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης ανεργίας. Συνολικά, το 47% της συνολικής απασχόλησης στις ΗΠΑ ενδέχεται να κινδυνεύσει.^{45,46} Επιπλέον, το ποσοστό των εσφαλμένων αποτελεσμάτων είναι συχνά απρόβλεπτο.⁴⁷ Άξιο σημείο

προβληματισμού είναι, επίσης, το γεγονός ότι όλη η διαδικασία στηρίζεται, εν πολλοίς, στην ακρίβεια των εισαγόμενων δεδομένων -η αξιοπιστία των οποίων έχει αμφισβητηθεί πρόσφατα- προκειμένου να εγκριθεί η κυκλοφορία νέων φαρμάκων.⁴⁸ Ακούσια συνέπεια, από την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας, αποτελεί η μείωση των ειδικών ικανοτήτων των ιατρών στην άσκηση του γνωστικού τους αντικείμενου. Διαπιστώθηκε μείωση της διαγνωστικής ικανότητας των ιατρών από 57% σε 49%, διότι επηρεάστηκαν από τις ενδείξεις των μηχανών, οι οποίες σκοπίμως περιείχαν εσφαλμένα αποτελέσματα.⁴⁹

Τεχνητή Νοημοσύνη και Τηλε-Ιατρική

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει έναν μεγάλο αριθμό εφαρμογών στην ιατρική επιστήμη σήμερα, όπως στην Τηλε-Ιατρική με τη χρήση των "έξυπνων" κινητών, που είναι σε θέση να εκτελούν εξετάσεις (υπέρηχο καρδιάς και κοιλιάς), να λαμβάνουν ζωτικά σημεία και βιολογικές παραμέτρους του χρήστη, καθώς και του "έξυπνου" σπιτιού, που παρακολουθούν την κατάσταση των αρρώστων από μα-

κριά και συμβουλεύουν τον ασθενή για θέματα της θεραπείας, της δίαιτάς του, της κινητικότητας και της κοινωνικοποίησής του. Η σημαντικότερη, όμως, εφαρμογή των "έξυπνων" κινητών σήμερα στην Υγεία είναι η άμεση παροχή έγκυρων πληροφοριών. Η εφαρμογή αυτή αφορά άμεσα τους λειτουργούς υγείας, αν αναλογιστούμε ότι η ιατρική γνώση σήμερα διπλασιάζεται κάθε τρία χρόνια, ενώ στο εγγύς μέλλον προβλέπεται ότι αυτό θα γίνεται κάθε 75 ημέρες.

ΟΟΣΑ και Ελλάδα

Η Ελλάδα και άλλες 41 χώρες υιοθέτησαν επίσημα τις πρώτες κατευθυντήριες οδηγίες για τη χάραξη διεθνούς πολιτικής, με στόχο τη δημιουργία Τεχνητής Νοημοσύνης αξιόπιστης, αμερόληπτης, με σεβασμό προς τις αρχές της προστασίας των δεδομένων, της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας των πολιτών. (Σύνοδος ΟΟΣΑ- Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, Παρίσι 22-23/05/2019).

Τεχνητή Νοημοσύνη και μέλλον

Στο μέλλον θα έχουμε την εμφάνιση ενός νέου τύπου ασθενούς, που θα αποκαλείται και συνδεδεμένος ασθενής, με αισθητήρες τόσο εξωτερικούς όσο και εντός του σώματός του, για την παρακολούθηση όλων των ζωτικών παραμέτρων σε συνεχή βάση, ενώ σε περίπτωση εκτροπής θα γίνεται έγκαιρη προειδοποίηση. Με τους "έξυπνους" καθρέπτες θα λαμβάνονται ζωτικές βιολογικές παράμετροι, τα "έξυπνα" stents με ενσωματωμένους αισθητήρες ροής θα ειδοποιούν σε κάθε μεταβολή τον άρρωστο και τον θεράποντα ιατρό και, τέλος, με την εφαρμογή της νανορομποτικής, όπου νανορομπότ θα εισάγονται εντός του σώματος για την παρακολούθηση, τη διάγνωση και τη θεραπεία διαφόρων παθήσεων των στεφανιαίων αγγείων,⁴⁵ καθώς και για την αντιμετώπιση καρκινικών όγκων⁵⁰ (Σχήμα 4).

Τεχνητή Νοημοσύνη και Ιατρική Εκπαίδευση

Η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει σημαντική εφαρμο-

γή σήμερα και στην Ιατρική Εκπαίδευση. Ο εικονικός άρρωστος, το εικονικό νοσοκομείο ή χειρουργείο βοηθούν στην καλύτερη εξοικείωση των φοιτητών με τις διάφορες παθήσεις.

Επίσης, οι μηχανές υπερήχων με ενσωματωμένους αλγορίθμους TN μπορούν να βοηθήσουν τους φοιτητές στη σωστή λήψη εικόνας και στις μετρήσεις. Οι σύγχρονοι προσομοιωτές υπερηχοκαρδιογραφίας προσφέρουν μια ευρεία ποικιλία περιπτώσεων με καρδιαγγειακές παθήσεις για την ανάπτυξη δεξιοτήτων αναγνώρισης της παθολογίας καθώς και της ικανότητας μέτρησης των εικόνων με ακρίβεια. Το λογισμικό σε αυτούς τους προσομοιωτές και σε μηχανές υπερήχων μπορεί να εκπαιδεύσει αρχάριους χρήστες και ασκούμενους στην υπερηχογραφία.⁵¹ Οι ιατρικές σχολές έχουν αρχίσει να περιλαμβάνουν στα προγράμματα σπουδών, ακόμη και για φοιτητές του πρώτου έτους, φορητά μηχανήματα υπερήχων με ενσωματωμένο αλγόριθμο TN για την εκτέλεση υπερηχογραφήματος σημείου φροντίδας (point-of-care ultrasound, POCUS) σε καρδιολογικό τμήμα ή στο ΤΕΠ, προκειμένου να διδάξουν καλύτερα την ανατομία και να επιταχύνουν την καμπύλη μάθησης για αυτούς τους φοιτητές ιατρικής.^{52,53,54} Δυστυχώς, στα προγράμματα σπουδών των Ιατρικών Σχολών της χώρας μας δεν περιλαμβάνεται μάθημα σχετικό με την Τεχνητή Νοημοσύνη. Κρίνεται απαραίτητο τα προγράμματα σπουδών να εμπλουτισθούν, ώστε να συμβαδίζουν με αυτά που υπάρχουν σε διεθνές επίπεδο.

Συμπερασματικά, η τεχνολογία της μηχανικής μάθησης έχει τη δυνατότητα να αναλύει τεράστιο όγκο δεδομένων σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, να ανακαλύπτει νέες συσχετίσεις, να "μαθαίνει", να επιλύει προβλήματα και να αποκτά νέες γνώσεις με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων που μιμούνται τις ανθρώπινες γνωστικές λειτουργίες. Οι πύλες της Επιστήμης άνοιξαν πλέον διάπλατα. Ήδη η Ιατρική και η Τεχνητή Νοημοσύνη τις πέρασαν και ξεκίνησαν μια κοινή πορεία, για ένα συναρπαστικό ταξίδι, ατενίζοντας με αισιοδοξία το μέλλον. ■

► ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Vidal-Perez Rafael. Utility of artificial intelligence in cardiology. *Health Management* 2018;18 (1); 50-52.
- Krittanawong C, Zhang H, Wang Z, Aydar MKT. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. *J Am Coll Cardiol.* 2017;69:2657–64.
- Μουλόπουλος Σ. Μηχανική μάθηση στη Θεραπευτική. Θεραπευτικές Εξελίξεις 2018; 3-7.
- Χρυσός Δ. Τεχνητή νοημοσύνη και Ιατρική. Πρακτικά 15ου Συμποσίου Εταιρείας Διάδοσης Ιπποκρατείου Πνεύματος 2019; 164-170.
- Appenzeller T: The scientist's apprentice. *Science* 2017; 317:16-17.
- Von Bartheld CS, J Bahney, Herculano-Houzel S. The search for true numbers of neurons and glial cells in the human brain: A review of 150 years of cell counting. *J Comp Neurol.* 2016; 524 (18):3865-3895.
- Herculano-Houzel Suzana. In the book "The human Advantage: A new understanding of how our brain became remarkable". MIT press (2016).
- Van Rosendael AR, Maliakal G, Kolli KK et al. Maximization of the usage of coronary CTA derived plaque information using a machine learning based algorithm to improve risk stratification; insights from the CONFIRM registry. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2018;12:204-209.
- Tomasev N, Glorot X, Rae JW, et al. A clinically applicable approach to continuous prediction of future acute kidney injury. *Nature* 2019;572:116-119.
- Ding Y, Sohn JH, Kawczynski MG. et al. A Deep Learning Model to Predict a Diagnosis of Alzheimer Disease by Using 18F-FDG PET of the Brain. *Radiology*, 2018; 1-9.
- Hippisley-Cox J. et al. Development and validation of QRISC-3 risk prediction algorithm to estimate future risk of cardiovascular disease: prospective cohort study. *Brit Med J* 2017; 357:J2099.
- Goldstein B., Navar A., Carter R. Moving beyond regression techniques in cardiovascular risk prediction applying machine learning to address analytic challenges. *Eur. Heart J* 2017; 38:1805- 1814.
- Coronary CT Angiography and 5-Year Risk of Myocardial Infarction List of authors. The SCOT-HEART Investigators. *N Engl J Med* 2018; 379:924-933.
- Rosler A., Fraportii J, Nectoux P et al. Development and application of a system based on AI for transcatheter aortic prosthesis selection. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery* 2018; 33: 391-397.
- Jeganathan J., Knio Z. et al. Artificial Intelligence in Mitral Valve Analysis. *Annals of Cardiac Anesthesia* 2017; 20 (2): 129-134.
- Lakhari P., Saudaram B. Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks. *Radiology* 2017 Aug; 284(2):574- 582.
- Esteva A. et al. Dermatologist level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 2017; 542:115-118.
- Bejnordi B et al. Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer. *JAMA* 2017;318:2199-2210.
- Thompson WR et al. Artificial Intelligence-Assisted Auscultation of Heart Murmurs: Validation by Virtual Clinical Trial. *Pediatr Cardiol* 2019; 40:623-629.
- Zhang K, et al. Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence. *Nat Med.* 2019; 25(3):433-438.
- Denniston A, Balaskas K., et al. First systematic review and metaanalysis suggests artificial intelligence may be as effective as health professionals at diagnosing disease. *The Lancet Digital Health* 2019; 1:6(Oct) e271-297.
- Dey D. et al. Radiomics to Identify High-Risk Atherosclerotic Plaque From Computed Tomography. *Circulation: Cardiovascular Imaging.* 2017; 10 (12):e007254.

23. Kolossváry M, et al. Cardiac Computed Tomography Radiomics: A Comprehensive Review on Radiomic Techniques. *J Thorac Imaging* 2018; 33:26-34.
24. Kolossváry M, et al. Radiomic features are superior to conventional quantitative computed tomographic metrics to identify coronary plaques with napkin-ring sign. *Circ Cardiovasc Imaging*.2017; 10(12):1-9.
25. Pesapane F., Codari M., Sardaneli F. Artificial Intelligence in Medical Imaging: Threat or Opportunity? Radiologists Again at the Forefront of Innovation in Medicine. *Eur Radiol Exp* 2018; 2(1):35.
26. Siegersma K.P., Leiner T., Chew D.P. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: state of the art and implications for the imaging cardiologist. *Neth Heart J* 2019 Sep; 27(9):403-413.
27. Zhang J, et al. Fully automated echocardiogram interpretation in clinical practice: feasibility and diagnostic accuracy. *Circulation* 2018; 138: 1623-1635.
28. F. Lopez-Jimenez, Z. Attia, A. Arruda Olson, et al. Artificial Intelligence in Cardiology: Present and Future *Mayo Clin Proc.* 2020; 95(5):1015-1039.
29. Dey D. et al. Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging. State-of-the-Art. Review *JACC* 2019; 73:1317-35.
30. Madani A, Arnaout R, Mofrad M. Fast and accurate view classification of echocardiograms using deep learning. *npj Digit Med.* 2018;1(6):1-8.
31. Knackstedt C, Bekkers SCAM, Schummers G, et al. Fully automated versus standard tracking of left ventricular ejection fraction and longitudinal strain: the FAST-EFs Multicenter Study. *J Am Coll Cardiol.* 2015; 66:1456-66.
32. Zreik M., van Hamersvelt R.W., Wolterink J.M. et al. A Recurrent CNN for Automatic Detection and Classification of Coronary Artery Plaque and Stenosis in Coronary CT Angiography. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 2019;38:1588-98.
33. Wolterink JM, Leiner T, Viergever MA, Isgum I. Generative adversarial networks for noise reduction in low-dose CT. *IEEE Trans Med Imaging.* 2017; 36 (12): 2536-45.
34. Wolterink JM, Leiner T, De Vos BD, et al. Automatic coronary artery calcium scoring in cardiac CT angiography using paired convolutional neural networks. *Med Image Anal.* 2016; 34:123-36.
35. Zreik M, Leiner T., de Vos BD., et al. Automatic segmentation of the left ventricle in cardiac CT angiography using convolutional neural networks. *IEEE 13th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), Prague.* 2016:40-43.
36. Oikonomou EK, Marwan M., Desai M., et al. Non-invasive detection of coronary inflammation using computed tomography and prediction of residual cardiovascular risk (the CRISP CT study): A post hoc analysis of prospective outcoming data. *Lancet* 2018;392:929-939.
37. Gaibazzi N., Tsiana M., Botti A., et al. Coronary Inflammation by Computed Tomography Pericoronary Fat Attenuation in MINOCA and TakoTsubo Syndrome. *J Am Heart Assoc.* 2019;8 (17):e013235.
38. Patel M.R, Norgaard BL, Fairbairn TA, et al. 1-Year Impact on Medical Practice and Clinical Outcomes of FFRCT: The ADVANCE Registry. *JACC: Cardiovascular Imaging* 2020; 13(1): 97-105.
39. Graff CG, Sidky EY. Compressive sensing in medical imaging. *Appl Opt.*2015;54(8):23-44.
40. Sudarshan V, Ng EY, Acharya UR, et al. Computer-aided diagnosis of myocardial infarction using ultrasound images with DWT, GLCM and HOS methods: a comparative study. *Comput Biol Med.* 2015; 62:86-93.
41. Dawes TJW, de Marvao A, Shi W, et al. Machine learning of three-dimensional right ventricular motion enables outcome prediction in pulmonary hypertension: a cardiac MR imaging study. *Radiology.*2017; 283(2):381-90.
42. Kiely DG., Doyle O., Drage E., et al. Utilising artificial intelligence to determine patients at risk of a rare disease: idiopathic pulmonary arterial hypertension. *Pulmonary Circulation* 2019;9(4):1-9.
43. Θ.Δ. Μουντοκαλάκης. Εξατομικευμένη ή «προσωποποιημένη» Ιατρική: τι είναι και τι δεν είναι. *Αρχαία Ελληνικής Εταιρείας* 2019; 36(4): 561-570.
44. Johnson KW, Soto JT, Glicksberg BS, et al. Artificial Intelligence in Cardiology. *Journal of the American College of Cardiology* 2018 ; 71(23) : 2668-2679.
45. Bruining N, Barendse R, Cummins, P. The future of computers in cardiology : the "connected" patient. *Eur. Heart J* 2017;38:1781-1794.
46. Frey CB, Osborne MA. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change* 114: 254-280.
47. Chen JH, Asch SM. Machine learning and prediction in Medicine: beyond the peak of inflated expectations. *New Engl J Med* 2017; 376:2507-2509.
48. Lenzer J: Big data bias: bringing noise and conflicts to US drug regulation. *Brit Med* 2017;358:J3275.
49. Cabitsa F, Rasoini R, Gensini G.F. Unintended consequences of machine learning in Medicine. *JAMA* 2017; 318:517-518.
50. Fu J, Yan H. Controlled drug release by a nanorobot. *Nature Biotechnology* 2012 ; 30:407-408.
51. Narang A., Hong H., Hsieh C. et al. Evaluation of a deep-learning model designed to aid novice scanners in obtaining diagnostic quality echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr.* 2019; 32 ([abstract]): B118.
52. Johri A.M., Durbin J., Newbigging J., et al. Cardiac point-of-care ultrasound state-of-the-art in medical school education.

- J Am Soc Echocardiogr. 2018; 31: 749-760.
53. Gharahbaghian L, Anderson K.L., Lobo V. et al. Point-of-Care ultrasound in austere environments. Emerg Med Clin North Am. 2017;35:409-441.
54. Ashlee D., Kristen B., Kenneth H., et al. Artificial Intelligence and Echocardiography: A Primer for Cardiac Sonographers. JASE 2020; 33:1061-1066.



Lady with a Fan

Auguste Renoir