

ΕΙΔΙΚΟ ΑΡΘΡΟ SPECIAL ARTICLE

Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον ψηφιακό μετασχηματισμό στη φροντίδα υγείας

Η χρήση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της φροντίδας υγείας επηρεάζει τον ψηφιακό μετασχηματισμό, μέσω της αυτοματοποίησης, της συλλογής και της επεξεργασίας μεγάλου όγκου σύνθετων δεδομένων, καθώς και μέσω της προσβασιμότητας στις υπηρεσίες υγείας. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια πιο αποτελεσματική, αποδοτική και ολοκληρωμένη παροχή φροντίδας υγείας στους πολίτες. Ωστόσο, υπάρχουν ηθικά ζητήματα που σχετίζονται με τις τεχνολογίες αυτές και πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η ασφάλεια δεδομένων, η διαφάνεια και η ευθύνη στη χρήση της τεχνολογίας, αλλά και οι αλγοριθμικές προκαταλήψεις, δηλαδή η χρήση μη αντιπροσωπευτικών δεδομένων ή άδικων κατηγοριοποιήσεων, που μπορούν να ενισχύσουν τις ανισότητες στον τομέα της υγείας. Παρά τις παραπάνω αδυναμίες συνεχίζεται η εξέλιξη των αλγοριθμικών τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, όπως η μηχανική μάθηση, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και η βαθιά μάθηση. Μέσω αυτών των τεχνικών η τεχνητή νοημοσύνη επηρεάζει διάφορες κατηγορίες παρεμβάσεων φροντίδας υγείας, όπως η θεραπεία, η αποκατάσταση, η Ιατρική ακριβείας και οι διοικητικές λειτουργίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εστιασμένων εφαρμογών της στη διάγνωση είναι ο εντοπισμός εγκεφαλικών τραυμάτων, προκαρκινικών αλλοιώσεων, κολπικής μαρμαρυγής, αλλά και ψυχικών διαταραχών, ενώ στη Ρομποτική είναι τα ρομπότ-συνοδοί, που είτε διευκολύνουν την καθημερινή ζωή των ηλικιωμένων και των ασθενών είτε συνδράμουν το υγειονομικό προσωπικό στην κλινική καθημερινότητα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από την ταχύτατη εξέλιξη των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), δηλαδή «μορφών τεχνολογίας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση, την αποθήκευση, τη δημιουργία, την κοινή χρήση ή την ανταλλαγή πληροφοριών και περιλαμβάνει τεχνολογίες, όπως ραδιόφωνο, τηλεόραση, video, DVD, τηλέφωνο, δορυφορικά συστήματα, υλικό και λογισμικό υπολογιστών και δικτύων, καθώς και τον εξοπλισμό και τις υπηρεσίες που σχετίζονται με τις εν λόγω τεχνολογίες, όπως βιντεοδιάσκεψη και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο»,¹ καθώς και τη δυνατότητα χρήσης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων.² Παράλληλα, τα τελευταία έτη, η μεγάλη πίεση για μείωση των κρατικών δαπανών και η απαίτηση των πολιτών για ένα αποτελεσματικό κράτος προσανατολισμένο στις ανάγκες τους καθιστούν αναγκαίες τις αλλαγές του κρατικού μηχανισμού.³

Αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν οι ΤΠΕ, μπορούν να βελτιωθούν και να ανασχεδιαστούν διοικητικές διαδικασίες της δημόσιας διοίκησης, οδηγώντας στην ηλεκτρονική/ψηφιακή δημόσια διοίκηση (electronic government, eGovernment).⁴ Βαθμιαία ακολουθεί ο μετασχηματισμός του γενικότερου τρόπου λειτουργίας και των οργανωτικών δομών, οδηγώντας σταδιακά στη δημιουργία νέων μοντέλων ηλεκτρονικής/ψηφιακής διακυβέρνησης (electronic governance, eGovernance).⁴ Ως ηλεκτρονική/ψηφιακή διακυβέρνηση ορίζεται «η χρήση των ΤΠΕ στη δημόσια διοίκηση σε συνδυασμό με οργανωτικές αλλαγές και νέες δεξιότητες του προσωπικού, με σκοπό τη βελτίωση της εξυπηρέτησης του κοινού, την ενδυνάμωση της δημοκρατίας και την υποστήριξη των δημόσιων πολιτικών». ¹ Στόχος της ηλεκτρονικής/ψηφιακής διακυβέρνησης στη φροντίδα υγείας είναι η ευκολότερη πρόσβαση των πολιτών σε υπηρεσίες, αλλά και η βελτίωση της ποιότητας, της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας αυτών των υπηρεσιών.¹

ΑΡΧΕΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ 2025, 42(6):827-834
ARCHIVES OF HELLENIC MEDICINE 2025, 42(6):827-834

Χ. Πασχαλίδου,¹
Ι. Αποστολάκης,^{1,2}
Π. Σαράφης^{1,3}

¹Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Ελληνικό
Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα

²Ιατρική Σχολή, Εθνικό και
Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Αθήνα

³Τμήμα Νοσηλευτικής, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας, Λάρισα

Application of artificial intelligence
in digital transformation
in healthcare

Abstract at the end of the article

Λέξεις ευρετηρίου

Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης
στη φροντίδα υγείας
Ηθικά διλήμματα
Τεχνητή νοημοσύνη
Ψηφιακός μετασχηματισμός

Υποβλήθηκε 22.8.2024
Εγκρίθηκε 21.9.2024

Η σταδιακή ανάπτυξη και εμβάθυνση της ηλεκτρονικής/ψηφιακής διακυβέρνησης με τη διευρυμένη χρήση των ΤΠΕ οδηγεί στον ψηφιακό μετασχηματισμό,³ ο οποίος επιδρά σε όλους τους τομείς της οικονομίας και της δημόσιας πολιτικής, συμβάλλοντας στον εκσυγχρονισμό της λειτουργίας τους, περιλαμβανομένου του τομέα της υγείας.² Οι έννοιες ηλεκτρονική/ψηφιακή δημόσια διοίκηση, ηλεκτρονική/ψηφιακή διακυβέρνηση και ψηφιακός μετασχηματισμός παρουσιάζουν μια αλληλουχία, όπου η μια συνιστά μετεξέλιξη της προηγούμενης (εικ. 1).³

Όπως ανέδειξε και η πρόσφατη εμπειρία της πανδημίας COVID-19, ο ψηφιακός μετασχηματισμός στη φροντίδα υγείας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα μετεξέλιξής της.² Τα σύγχρονα συστήματα υγείας αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, όπως αυξημένο κόστος περίθαλψης και αυξημένη επιβάρυνση από τη γήρανση του πληθυσμού και τις χρόνιες ασθένειες,⁵ ενώ χαρακτηρίζονται από παραγωγή και ανάγκη επεξεργασίας τεράστιου όγκου δεδομένων.⁶ Ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι μια συνεχής διαδικασία που μπορεί να δημιουργήσει ευκαιρίες στον τομέα της υγείας, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν οι απαραίτητες υποδομές, η κατάλληλη κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού και η δυνατότητα διαλειτουργικότητας μεταξύ των πληροφοριακών συστημάτων.⁷

Η ραγδαία ανάπτυξη των ΤΠΕ, που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τον ψηφιακό μετασχηματισμό, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός νέου επιστημονικού πεδίου, της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence).⁶ Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να επηρεάσουν την παρέμβαση της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης στη φροντίδα υγείας και πιθανόν να βελτιώσουν τη διαχείριση της υγείας των πολιτών, να αλλάξουν τον τρόπο παροχής των υπηρεσιών υγείας, να βελτιώσουν την κλινική λειτουργία και να μειώσουν το κόστος φροντίδας,⁸ συμβάλλοντας στην υλοποίηση της ολοκληρωμένης φροντίδας υγείας.⁹

Η αναγκαιότητα του ψηφιακού μετασχηματισμού έχει γίνει αντιληπτή και στην Ελλάδα.² Στο πλαίσιο αυτό, το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης ακολουθεί μια εθνική στρατηγική για τον ψηφιακό μετασχηματισμό του συνόλου της ελληνικής κοινωνίας και οικονομίας.² Το Σχέδιο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας συμβάλλει στον ψηφιακό μετασχηματισμό της Ελλάδας και αντανakλά τους στόχους και το σχέδιο δράσης της Βίβλου Ψηφιακού Μετασχηματισμού (ΦΕΚ 2894/Β/5.7.2021), η οποία αποτελεί

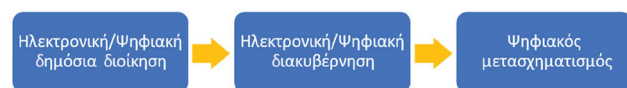
μία καταγραφή των απαραίτητων παρεμβάσεων και της εθνικής στρατηγικής για τον ψηφιακό μετασχηματισμό της κοινωνίας, ενώ παράλληλα περιγράφει συγκεκριμένα έργα για την υλοποίησή του.² Στον τομέα της υγείας, χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων έργων είναι η διεύρυνση της Τηλεϊατρικής, ο Εθνικός Ψηφιακός Φάκελος Υγείας, το Εθνικό Ψηφιακό Πρόγραμμα Διαχείρισης του Καρκίνου και η ψηφιακή αναβάθμιση των νοσοκομείων.¹⁰

2. Η ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΟΝ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΑ ΗΘΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

Κύρια επιστημονικά πεδία που επηρεάζουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό στην υγεία είναι η Τηλεϊατρική, δηλαδή η απομακρυσμένη παροχή υπηρεσιών υγείας μέσω ΤΠΕ, και το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things-IoT), το οποίο αναφέρεται σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο ιατρικών συσκευών, αισθητήρων και συστημάτων που συλλέγουν και ανταλλάσσουν δεδομένα υγείας μέσω του διαδικτύου.¹⁰ Παράλληλα, σημαντικά επιστημονικά πεδία του ψηφιακού μετασχηματισμού αποτελούν η εικονική πραγματικότητα (virtual reality), η οποία προσφέρει τη δυνατότητα για τρισδιάστατη προσομοίωση πραγματικών σεναρίων, οι εικονικοί προσωπικοί βοηθοί (virtual personal assistants), οι φορητές ιατρικές συσκευές (medical wearables) και το blockchain στην υγεία, δηλαδή μια τεχνολογία που προσφέρει ασφάλεια στις συναλλαγές, στη διαχείριση των δεδομένων και των υπηρεσιών.¹⁰ Η τεχνητή νοημοσύνη και τα μεγάλα δεδομένα (big data), δηλαδή τεράστιοι όγκοι δεδομένων με πολύπλοκη δομή και μεγάλη ετερογένεια,⁶ είναι δύο από τις σημαντικότερες τεχνολογίες για την καινοτομία στην υγειονομική περίθαλψη, που επηρεάζουν καθοριστικά τον ψηφιακό μετασχηματισμό.⁸

2.1. Ορισμός της τεχνητής νοημοσύνης και η επίδρασή της στον ψηφιακό μετασχηματισμό

Η τεχνητή νοημοσύνη συνιστά ένα πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών και περιγράφει τεχνικές που καθιστούν τα υπολογιστικά συστήματα ικανά να μιμούνται ανθρώπινες γνωστικές λειτουργίες, όπως η μάθηση και η λήψη αποφάσεων.⁶ Συγκεκριμένα, μπορεί να οριστεί ως «*συστήματα λογισμικού που, δεδομένου ενός πολύπλοκου στόχου, δρουν στη φυσική ή στην ψηφιακή διάσταση αντιλαμβανόμενα το περιβάλλον τους μέσω απόκτησης δεδομένων, ερμηνείας των συλλεγόμενων δομημένων ή μη δεδομένων, επεξεργασίας των πληροφοριών που προέρχονται από τα εν λόγω δεδομένα και αποφασίζουν τις καλύτερες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την επίτευξη του στόχου*».¹¹



Εικόνα 1. Η πορεία προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό.³

Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης χαρακτηρίζονται από την ικανότητα πρόβλεψης και αντιμετώπισης προβλημάτων, καθώς και από τη δυνατότητα μάθησης και αναγνώρισης μοτίβων και σχέσεων από μεγάλα δεδομένα, με τη χρήση κυρίως αλγορίθμων.⁵ Παράλληλα, είναι δυναμικά, αυτόνομα, προσαρμοστικά και διακρίνονται για τη δυνατότητα εξέλιξής τους.⁶

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να παρουσιαστεί σε τρεις τύπους/φάσεις: την τεχνητή στενή νοημοσύνη (artificial narrow intelligence, ANI), την τεχνητή γενική νοημοσύνη (artificial general intelligence, AGI) και την τεχνητή υπερεφυΐα (artificial superintelligence, ASI).¹² Η πρώτη αναφέρεται στην επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων, για τα οποία έχουν σχεδιαστεί αλγόριθμοι και περιλαμβάνει συστήματα, όπως λογισμικό αναγνώρισης φωνής (π.χ. Siri της Apple).¹³ Η τεχνητή γενική νοημοσύνη αναφέρεται στην πλήρη μίμηση της ανθρώπινης λογικής, της μάθησης και της λήψης αποφάσεων.¹² Η τεχνητή υπερεφυΐα είναι η προέκταση της τεχνητής γενικής νοημοσύνης, όπου οι υπολογιστές μπορούν να λειτουργούν σε υψηλότερο επίπεδο νοημοσύνης από εκείνο των ανθρώπων.¹²

Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης συμβάλλουν σημαντικά στον ψηφιακό μετασχηματισμό, επιτρέποντας τη συλλογή, την αποθήκευση και την επεξεργασία μεγάλου όγκου και διαφορετικού τύπου δεδομένων υγείας, την παραγωγή πληροφοριών και τη συνεργασία που απαιτείται μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.⁷ Με αυτόν τον τρόπο, συνιστά κρίσιμο παράγοντα για την απλούστευση της υγειονομικής περιθάλψης και την ανάπτυξη «έξυπνων» συστημάτων φροντίδας,¹⁴ παρέχοντας τη δυνατότητα για διαμόρφωση αποδοτικών μοντέλων διοίκησης, λήψης αποφάσεων και χάραξης πολιτικής βάσει αποδεικτικών στοιχείων.⁶

Ταυτόχρονα, προσφέρει προσβασιμότητα στις υπηρεσίες υγείας, π.χ. μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών, όπως η online συμβουλευτική, αλλά και την ευκαιρία για εμπλοκή των ασθενών στη φροντίδα τους μέσω τεχνολογικών εργαλείων εκπαίδευσής τους.¹⁵ Επί πλέον, μέσω της αυτοματοποίησης απλοποιεί λειτουργικές διαδικασίες, βελτιστοποιεί τη ροή εργασίας και την κατανομή των πόρων, συμβάλλοντας σε ένα αποδοτικότερο και αποτελεσματικότερο σύστημα υγείας.¹⁵ Αποτελεί εξ άλλου μια από τις βασικότερες ΤΠΕ, μέσω των οποίων μπορεί να υλοποιηθεί ένα έξυπνο νοσοκομείο (smart hospital), δηλαδή ένας οργανισμός υγείας που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες, με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας και της ταχύτητας λειτουργίας του, καθώς και τη βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας και της ποιότητας των υπηρεσιών του.¹⁶

2.2. Ηθικά ζητήματα

Παρά τον θετικό αντίκτυπο της χρήσης και εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στη φροντίδα υγείας, αναδύεται πληθώρα ηθικών ζητημάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το απόρρητο, η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα. Η ασφάλεια αφορά στα προσωπικά δεδομένα, αλλά και στις εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης.¹⁷ Κατά τη διαχείριση των προσωπικών δεδομένων έγκειται ο κίνδυνος διαρροών, π.χ. λόγω κλοπής ή παράνομης πρόσβασης ή λόγω ταυτοποίησης προσώπων,¹⁷ όπως π.χ. ο προσδιορισμός της ταυτότητας ενός ατόμου από γονιδιωματικές ακολουθίες σε βάσεις δεδομένων, γεγονός που εμποδίζει την προστασία της ιδιωτικής ζωής.¹⁸ Ταυτόχρονα, η εκτίμηση της σχέσης οφέλους/κινδύνου των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης κατά τη διαδικασία έγκρισής τους είναι επίσης σημαντική για την ασφάλεια των ασθενών.¹⁷ Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι η ανάπτυξη του ψηφιακού οικοσυστήματος έχει ως αποτέλεσμα τη ροή μεγάλου όγκου δεδομένων στον κυβερνοχώρο, με συνέπεια ακόμη και μια μεμονωμένη κυβερνοεπίθεση (hacking) να είναι σε θέση να επηρεάσει πολυάριθμες συσκευές και χρήστες.⁶ Οι παραπάνω προκλήσεις απαιτούν προσεκτική αντιμετώπιση με διάφορα εργαλεία για την ασφαλή διαχείριση των δεδομένων (π.χ. κρυπτογράφηση, ανωνυμοποίηση, ψευδωνυμοποίηση δεδομένων), καθώς και εφαρμογή κανονιστικών πλαισίων, όπως ο Γενικός Κανόνας Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (General Data Protection Regulation, GDPR).¹⁹

Επί πλέον, σημαντικά ηθικά ζητήματα αποτελούν η διαφάνεια και η κατανομή της ευθύνης. Η τεχνολογική πολυπλοκότητα των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης τα καθιστά «μαύρα κουτιά», προξενώντας ζητήματα διαφάνειας σε επίπεδο θεράποντα ιατρού και ασθενούς.¹⁷ Η περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης εγείρει ζητήματα προσδιορισμού της ευθύνης σε περίπτωση π.χ. μιας λανθασμένης διάγνωσης.²⁰ Σε επίπεδο ασθενούς, η διαφάνεια αφορά στην ενημερωμένη συναίνεσή του, με δεδομένη την περιορισμένη τεχνολογική του κατάρτιση.¹⁷

Το φαινόμενο των αλγοριθμικών προκαταλήψεων συνιστά ένα επί πλέον ηθικό ζήτημα κατά τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και αφορά στη δικαιοσύνη και στην ισότητα στον χώρο της υγείας. Οι αλγοριθμικές προκαταλήψεις αναφέρονται στην τάση των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης να παρουσιάζουν ανακρίβειες στα αποτελέσματά τους, λόγω διαφόρων παραμέτρων οι οποίες έχουν ενσωματωθεί κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσής τους, όπως σύνολα δεδομένων που είτε δεν είναι αντιπροσωπευτικά του γενικού πληθυσμού, είτε βασίζονται σε αδικαιολόγητη

κατηγοριοποίηση των δεδομένων, όπως η φυλετική διάκριση, και μπορούν να ενισχύσουν τις διακρίσεις και τις ανισότητες στον τομέα της υγείας.²⁰

Με σκοπό τη διασφάλιση της προστασίας του δημόσιου συμφέροντος και των προσωπικών δεδομένων, καθώς και για την ασφαλή και αξιόπιστη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης, στις 13 Μαρτίου 2024 εγκρίθηκε το νομοθετικό ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για τον νέο κανονισμό για την τεχνητή νοημοσύνη.²¹ Στόχος είναι η ύπαρξη ενός ενιαίου νομοθετικού πλαισίου σε όλη την επικράτεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που αφορά στους κανόνες εισαγωγής, χρήσης, ελέγχου και εποπτείας των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης υψηλού κινδύνου, δηλαδή των αυτόνομων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης τα οποία ενέχουν υψηλό κίνδυνο βλάβης στην υγεία, στην ασφάλεια και στα δικαιώματα των ατόμων.²¹ Ειδικότερα στον τομέα της υγείας, τα ολοένα και πιο εξελιγμένα συστήματα διάγνωσης, καθώς και τα συστήματα που υποστηρίζουν τις κλινικές αποφάσεις, θα πρέπει να είναι αξιόπιστα και ακριβή.²¹ Στο εν λόγω πλαίσιο, οι πολίτες θα έχουν το δικαίωμα να υποβάλλουν καταγγελίες για τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και να λαμβάνουν εξηγήσεις για τυχόν αποφάσεις που βασίστηκαν σε συστήματα υψηλού κινδύνου και επηρεάζουν τα δικαιώματά τους.²¹

3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΣΤΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ

Η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων για την παραγωγή χρήσιμων πληροφοριών που σχετίζονται με ιατρικές πρακτικές συνιστά μια πρόκληση.²² Ισχυρές τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης μπορούν, ωστόσο, να ξεκλειδώσουν κλινικά σχετικές πληροφορίες που κρύβονται στον τεράστιο όγκο δεδομένων.²³ Η τεχνητή νοημοσύνη ενσωματώνει, για τον σκοπό αυτόν, διάφορες τεχνικές, όπως η μηχανική μάθηση (machine learning, ML), τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks, ANN) και η βαθιά μάθηση (deep learning, DL).²⁴

Η μηχανική μάθηση, μια από τις πλέον κοινές μορφές τεχνητής νοημοσύνης, συνιστά υπολογιστική στατιστική τεχνική.⁶ Αναφέρεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων που επιτρέπουν στα προγράμματα υπολογιστών να βελτιώνονται αυτόματα μέσω της εμπειρίας.⁵ Πιο αναλυτικά, τα συστήματα μηχανικής μάθησης συλλέγουν δεδομένα, π.χ. χαρακτηριστικά ασθενών και ιατρικά αποτελέσματα,²³ τα οποία αναλύουν με σκοπό τον εντοπισμό συγκεκριμένων μοτίβων,⁶ έχοντας ως αποτέλεσμα να γίνονται πιο «ευφυή», βελτιώνοντας την απόδοσή τους.¹⁸ Η μηχανική μάθηση ταξινομείται συνήθως σε τέσσερις κατηγορίες: στην επο-

πτευόμενη, στη μη εποπτευόμενη, στην ημι-εποπτευόμενη και στην ενισχυτική.²² Η εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning) χρησιμοποιεί ένα σύνολο δεδομένων ως είσοδο και ορισμένα γνωστά αποτελέσματα ως έξοδο, προσδιορίζοντας μοτίβα που συσχετίζουν τα δεδομένα εισόδου και εξόδου για την πραγματοποίηση προβλέψεων, με τον αλγόριθμο να μαθαίνει, τελικά, να κάνει προβλέψεις από νέα δεδομένα.¹⁵ Παράδειγμα αποτελεί η χρήση επισημασμένων εικόνων ακτίνων Χ γνωστών όγκων για την ανίχνευση όγκων σε νέες εικόνες.⁵ Η μη εποπτευόμενη μάθηση (unsupervised learning) αναδεικνύει τη δομή των δεδομένων και κάνει προβλέψεις, όταν τα αποτελέσματα είναι άγνωστα,¹⁵ όπως στην κατηγοριοποίηση ομάδων ασθενών με παρόμοια συμπτώματα για τον εντοπισμό μιας κοινής αιτίας.⁵ Η ημι-εποπτευόμενη μάθηση (semisupervised learning) είναι ο συνδυασμός των δύο παραπάνω κατηγοριών.¹⁵ Στην ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning) οι ανταμοιβές και οι τιμωρίες καθοδηγούν τη μαθησιακή διαδικασία, καθώς το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης μέσω της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον μαθαίνει να κάνει τις ενέργειες που θα μεγιστοποιήσουν την ανταμοιβή του, όπως συμβαίνει, αντίστοιχα, στα μοντέλα μάθησης των έμβιων όντων.²² Η ενισχυτική μάθηση βρίσκει εφαρμογή στην εξατομικευμένη Ιατρική, όπως εξατομίκευση της δοσολογίας του φαρμάκου ή της χημειοθεραπείας/ραδιοθεραπείας για ορισμένες ογκολογικές αγωγές.²⁵ Η εποπτευόμενη μάθηση παρέχει πιο σχετικά κλινικά αποτελέσματα και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται συχνότερα σε εφαρμογές στην υγειονομική περίθαλψη.²³

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια πιο περίπλοκη μορφή της μηχανικής μάθησης και είναι «εμπνευσμένα» από τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου.⁶ Ένα νευρωνικό δίκτυο συντελεί σε μια ομάδα αλγορίθμων που επικοινωνούν μεταξύ τους, αποτελώντας τους νευρώνες/κόμβους, οι οποίοι δέχονται ένα σύνολο αριθμητικών δεδομένων, εκτελώντας υπολογισμούς και παράγοντας εξόδους που κατευθύνονται είτε στο περιβάλλον είτε σε άλλους νευρώνες.⁶ Παρά την αδυναμία διαφάνειας που παρουσιάζουν, δυσκολεύοντας τη χρήση τους σε κλινικό περιβάλλον,²² τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορες πτυχές της υγειονομικής περίθαλψης, όπως στη Χειρουργική και στη δημιουργία προβλέψεων εξέλιξης μιας νόσου.²⁴

Η βαθιά μάθηση είναι υποσύνολο της μηχανικής μάθησης, που μιμείται την ανθρώπινη μάθηση χρησιμοποιώντας τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.²⁴ Έχει την ικανότητα να συνδυάζει εποπτευόμενες και μη εποπτευόμενες προσεγγίσεις.²⁶ Συνίσταται από πολλά ξεχωριστά στρώματα νευρώνων (layers), που το καθένα αποτελείται από ένα νευρωνικό δίκτυο, ενώ τα δεδομένα αναλύονται ξεχωριστά σε όλα τα

επίπεδα.⁶ Η ιδιαίτερη πολυπλοκότητα των συγκεκριμένων συστημάτων τα καθιστά κατάλληλα για διαχείριση μεγάλου όγκου ετερογενών δεδομένων με πολλαπλές πηγές εισόδου. Ωστόσο, λόγω της εξελισσόμενης και πολύπλοκης αυτής δομής, το αποτέλεσμα καθίσταται συχνά ανεξήγητο και δύσκολα ερμηνεύσιμο από τον άνθρωπο, θέτοντας πιθανόν υψηλό κίνδυνο για την ευημερία των ασθενών.²⁶ Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν εφαρμογές βαθιάς μάθησης στην υγειονομική περίθαλψη, όπως στην Ακτινολογία, για την ανάδειξη πιθανών καρκινικών βλαβών σε ακτινολογικές εικόνες,⁶ αλλά και στη διάγνωση, για την ταξινόμηση δερματολογικών παθήσεων και την ανίχνευση της κολπικής μαρμαρυγής.²⁶

Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης και η ταχεία ανάπτυξη μεθόδων ανάλυσής τους ενισχύουν τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην υγειονομική περίθαλψη.²³ Η γνώση που αποκτάται από τη διαχείριση των μεγάλων δεδομένων μέσω της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες κατηγορίες παρεμβάσεων στη φροντίδα υγείας.²²

Χαρακτηριστικά, κάποιοι σημαντικοί τομείς στους οποίους εφαρμόζεται ή μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνητή νοημοσύνη είναι η διάγνωση, π.χ. για τον εντοπισμό οφθαλμολογικών παθήσεων από οπτική τομογραφία συνοχής (Optical Coherence Tomography, OCT),²⁷ η εξατομικευμένη θεραπεία, π.χ. με συντονισμό και βελτιστοποίηση της θεραπείας μέσω επεξεργασίας των φυσιολογικών παραμέτρων που προέρχονται από φορητές συσκευές και επιτρέπουν την προσαρμογή της φροντίδας του ασθενούς,²⁸ καθώς και η εξατομικευμένη αποκατάσταση, π.χ. με προσαρμοσμένα προγράμματα αποκατάστασης ασθενών μέσω χρήσης ρομποτικών συσκευών για παροχή εξατομικευμένων ασκήσεων και παρακολούθηση της προόδου.²⁹ Παράλληλα, η τεχνητή νοημοσύνη βρίσκει εφαρμογή στην αυτοματοποίηση διοικητικών εργασιών, μέσω της χρήσης chatbot και εικονικών βοηθών για τον προγραμματισμό ραντεβού, απελευθερώνοντας φόρτο εργασίας από το προσωπικό, ώστε να επικεντρωθεί στη φροντίδα των ασθενών,²⁹ καθώς και στην επεξεργασία εικόνας, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την αυτόματη ταξινόμηση και αναγνώριση χαρακτηριστικών παθολογικών και κυτταρικών εικόνων με βάση τη μηχανική και τη βαθιά μάθηση.³⁰ Μια ακόμη εφαρμογή της παρατηρείται στην προβλεπτική Ιατρική, όπως π.χ. με τη δημιουργία συστήματος που συνδέει τα δεδομένα των ασθενών με το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης, παρέχοντας προγνωστικές πληροφορίες για τις παθήσεις με βάση τον κίνδυνο.²⁸ Άλλες εφαρμογές των τεχνικών της τεχνητής νοημοσύνης αφορούν στην υποστήριξη της κλινικής απόφασης, όπως με την εκτέλεση διαστρωμάτωσης κινδύνου ασθενών με βάση τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για

τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας διαλογής των ασθενών (emergency triage), αλλά και στην απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών (patient monitoring), όπως ο συνδυασμός τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης με κινητές ιατρικές συσκευές για απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, κυρίως σε περιπτώσεις χρόνιων νοσημάτων.³⁰ Η Ρομποτική, όπως για παράδειγμα το ρομπότ-βοηθός Pepper, που καθοδηγεί τους ασθενείς στις εγκαταστάσεις σε νοσοκομεία ή οίκους ευγηρίας στα ραντεβού τους,³¹ καθώς και η Ιατρική ακριβείας (precision medicine), π.χ. με χρήση μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη των πρωτοκόλλων θεραπείας που είναι πιθανόν να επιτύχουν σε έναν ασθενή με βάση διάφορα χαρακτηριστικά του, αποτελούν επίσης τομείς εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης.⁶ Η επιτάχυνση της ανάπτυξης των φαρμάκων, με βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του φαρμάκου και πρόβλεψη αλληλεπιδράσεων φαρμάκου-στόχου για τη μείωση του χρόνου ανάπτυξης νέων φαρμάκων ή τον εντοπισμό νέων ενδείξεων για γνωστά φάρμακα,³⁰ όπως και η Χειρουργική ακριβείας, με χειρουργικές επεμβάσεις μέσω ρομποτικής υποστήριξης για ακρίβεια και σταθερότητα, μειώνοντας τον κίνδυνο επιπλοκών, επιταχύνοντας τους χρόνους αποκατάστασης, παρέχοντας τη δυνατότητα για ελάχιστα επεμβατικές επεμβάσεις, υποστηρίζονται σημαντικά με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης.²⁹ Τρεις ακόμη τομείς στους οποίους συμβάλλει καθοριστικά η τεχνητή νοημοσύνη είναι η εφοδιαστική (Logistics), π.χ. με αυτόνομα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης για τη διαχείριση της ροής των πόρων,³² η δημόσια υγεία και η πρόληψη, όπως το σύστημα βαθιάς μάθησης για την αυτόματη αναγνώριση ατόμων υψηλού κινδύνου για καρδιαγγειακή νόσο,³³ αλλά και ο ψηφιακός εγγραμματισμός και η αυτοδιαχείριση νόσων, π.χ. με τη χρήση τεχνολογίας υγείας για κινητά με στόχο την αυτοδιαχείριση του διαβήτη και με την εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας φυσικής γλώσσας για τον εντοπισμό κενών γνώσης και την προώθηση προσαρμοσμένων εκπαιδευτικών στρατηγικών.¹⁸

4. ΕΣΤΙΑΣΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Δύο κατηγορίες παρεμβάσεων στις οποίες η τεχνητή νοημοσύνη έχει ήδη ευρεία εφαρμογή είναι η διάγνωση και η Ρομποτική. Όσον αφορά στη διάγνωση, χαρακτηριστικό παράδειγμα συνιστά η εταιρεία BrainScope Inc, η οποία έχει εισάγει δύο αλγόριθμους βασισμένους σε μηχανική μάθηση για την αξιολόγηση εγκεφαλικών τραυματισμών: το Ahead 100 για διάγνωση ελαφρών τραυμάτων και το BrainScope TBI για ένα ευρύτερο φάσμα εγκεφαλικών τραυμάτων, από λειτουργικές ανωμαλίες έως δομικές

βλάβες.³⁴ Το 2017 μια άλλη εταιρεία, η Apple, εγκατέστησε έναν αλγόριθμο βαθιάς μάθησης στο έξυπνο ρολόι της, που ανιχνεύει την κοιλική μαρμαρυγή και έλαβε έγκριση από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (Food and Drug Administration, FDA) των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ). Χρησιμοποιώντας αισθητήρες για ανάλυση σημάτων φωτοπληθυσμογραφίας και επιτάχυνσης, μαθαίνει τους συνήθεις καρδιακούς παλμούς του χρήστη σε κατάσταση ανάπαυσης και δραστηριότητας και εκπέμπει προειδοποιήσεις σε περίπτωση αποκλίσεων.³⁵ Ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα συνιστά η κλινική Mayo στις ΗΠΑ, η οποία χρησιμοποίησε την τεχνητή νοημοσύνη για την εξέταση του τραχήλου της μήτρας. Μέσω ενός αλγόριθμου βασισμένου σε 60.000 εικόνες από το Εθνικό Ινστιτούτο Καρκίνου, εντοπίστηκαν προκαρκινικές αλλοιώσεις με ακρίβεια 91%, υψηλότερη από εκείνη των επαγγελματιών υγείας, που ανερχόταν στο 69%.²⁷ Ταυτόχρονα, η τεχνητή νοημοσύνη υποστηρίζει και τον κλάδο της Ψυχιατρικής. Το QbCheck, ένας αλγόριθμος στο στάδιο έγκρισης από τον FDA, χρησιμοποιείται για τη διάγνωση ή τον αποκλεισμό της διαταραχής ελλειμματικής προσοχής και υπερκινητικότητας (attention deficit hyperactivity disorder, ADHD).³⁴ Ακόμη, το GI Genius, μια συσκευή ενδοσκόπησης με τεχνητή νοημοσύνη εγκεκριμένη στην Ευρώπη, αναγνωρίζει πολύποδες του παχέος εντέρου μέσω video κατά την ενδοσκοπική εξέταση. Σύμφωνα με μελέτη, είχε ευαισθησία 99,7% και ανίχνευσε πολύποδες ταχύτερα από τους ενδοσκόπους στο 82% των περιπτώσεων.³⁶

Στον χώρο της Ρομποτικής, η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο τα τελευταία έτη, ενώ τα παραδείγματα εφαρμογής της είναι ποικίλα. Τα ρομπότ-βοηθοί, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν ηλικιωμένους και ανθρώπους με κινητικές δυσκολίες. Ένα ρομπότ-βοηθός με ανθρώπινου τύπου χέρια, με την ονομασία RIBA, σχεδιάστηκε για να συνδράμει ασθενείς στην ανύψωση και στη μετακίνηση βαρέων αντικειμένων. Το ρομπότ είναι επίσης σε θέση να μεταφέρει έναν ασθενή από το κρεβάτι σε ένα αναπηρικό αμαξίδιο και αντίστροφα.³⁷ Ένα ακόμη παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα MARIO (managing active and healthy aging with use of caring service robots), που στοχεύει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων μοναξιάς και άνοιας σε ηλικιωμένους. Το ρομπότ συντροφιάς MARIO Komrai υποστηρίζει τις δοκιμασίες αξιολόγησης της άνοιας και προωθεί την αλληλεπίδραση με τους χρήστες.³⁷ Ένα άλλο ρομπότ-συννοδός με τεχνητή νοημοσύνη, το Buddy, βοηθά τους ηλικιωμένους ασθενείς σε καθημερινές δραστηριότητες, όπως υπενθυμίσεις για φάρμακα και ραντεβού, ενώ συνεισφέρει στον εντοπισμό πτώσεων, χρησιμοποιώντας αισθητήρες κίνησης.³⁷ Στο Νοσοκομείο Eunpyeong St Mary's στην Κορέα, το ρομπότ

Paul, βασισμένο σε μηχανική μάθηση, χρησιμοποιείται για να συνδράμει το ιατρικό προσωπικό στις επισκέψεις των ασθενών, αναγνωρίζοντας φωνές, μετατρέποντας ομιλία σε κείμενο για μεταγραφή ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων και παρέχοντας πληροφορίες ασθενών, όπως ιατρικές εικόνες και αποτελέσματα εξετάσεων, σε πραγματικό χρόνο.²⁷ Όσον αφορά στην αποκατάσταση των ασθενών, σχεδιάστηκε το Hybrid Assistive Limb (HAL), δηλαδή βιονικά άκρα για την αποκατάσταση από διαταραχές στα κάτω άκρα, όπως τραυματισμοί του νωτιαίου μυελού και αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια, χρησιμοποιώντας αισθητήρες τοποθετημένους στο δέρμα για την αποτελεσματική ανίχνευση ηλεκτρικών σημάτων στο σώμα του ασθενούς.¹⁴

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ταχεία ανάπτυξη των ΤΠΕ και η διάθεση μεγάλου όγκου δεδομένων συνδέεται άμεσα με τον ψηφιακό μετασχηματισμό του δημόσιου τομέα και της υγείας. Καθοριστικό ρόλο στην ηλεκτρονική διακυβέρνηση διαδραματίζει τα τελευταία έτη η χρήση και η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, δηλαδή «έξυπνων» υπολογιστικών συστημάτων που μιμούνται τις ανθρώπινες λειτουργίες, ανοίγοντας δρόμους για πιο αποτελεσματική και ολοκληρωμένη παροχή φροντίδας. Η επίδραση της τεχνητής νοημοσύνης στον ψηφιακό μετασχηματισμό στην υγεία διακρίνεται ποικιλοτρόπως, κυρίως μέσω της δυνατότητας συλλογής και επεξεργασίας μεγάλου όγκου σύνθετων δεδομένων υγείας, καθώς και μέσω της αυτοματοποίησης και της προσβασιμότητας στις υπηρεσίες υγείας. Οι εν λόγω παράγοντες οδηγούν σε ανάπτυξη αποδοτικότερων μοντέλων διοίκησης, απλούστευση της υγειονομικής περίθαλψης, βελτιστοποίηση ροών εργασίας και κατανομής πόρων και γενικότερα σε έξυπνα, αποδοτικότερα και αποτελεσματικότερα συστήματα φροντίδας. Λόγω της εξελιγμένης δομής των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης αναδύονται ωστόσο κάποια ηθικά ζητήματα, όπως η ασφάλεια των δεδομένων, η διαφάνεια και η ευθύνη στη χρήση της τεχνολογίας, καθώς και αλγοριθμικές προκαταλήψεις που μπορεί να ενισχύσουν τις ανισότητες στον τομέα της υγείας. Παρά τις παραπάνω αδυναμίες, η ανάπτυξη αλγοριθμικών τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, όπως η μηχανική μάθηση, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και η βαθιά μάθηση συνεχίζεται. Οι εν λόγω τεχνικές βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε διάφορες πτυχές της υγειονομικής περίθαλψης, όπως στη διάγνωση, στη θεραπεία, στην αποκατάσταση, στην παρακολούθηση ασθενών, στην προβλεπτική Ιατρική, στη Χειρουργική, στη δημόσια υγεία, στη Ρομποτική, αλλά και σε διοικητικές εργασίες, συνεισφέροντας σε ένα περισσότερο αποτελεσματικό και ακριβές σύστημα υγείας. Υπάρχουν

ποικίλα παραδείγματα εφαρμογών σε διάφορες κατηγορίες παρεμβάσεων της τεχνητής νοημοσύνης στην υγεία. Χαρακτηριστικά, στον τομέα της διάγνωσης είναι εφικτός ο εντοπισμός εγκεφαλικών τραυμάτων, προκαρκινικών αλλοιώσεων, κολπικής μαρμαρυγής, αλλά και ψυχικών διαταραχών, όπως η διαταραχή ελλειμματικής προσοχής

και υπερκινητικότητας (ΔΕΠΥ). Στη Ρομποτική, ρομπότ-συννοδοί, όπως το RIBA, το MARIO Kompaί και το Buddy συνδράμουν στην καθημερινή ζωή των ηλικιωμένων, ενώ άλλα, όπως το Paul, βοηθούν το υγειονομικό προσωπικό στην κλινική καθημερινότητα, προσφέροντας προηγμένες λύσεις στον τομέα της υγείας.

ABSTRACT

Application of artificial intelligence in digital transformation in healthcare

C. PASCHALIDOU,¹ I. APOSTOLAKIS,^{1,2} P. SARAFIS^{1,3}

¹School of Social Sciences, Hellenic Open University, Patras, ²School of Medicine, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, ³Department of Nursing, University of Thessaly, Larissa, Greece

Archives of Hellenic Medicine 2025, 42(6):827–834

The use of Information and Communication Technologies (ICT) and Artificial Intelligence (AI) systems in the healthcare sector impacts digital transformation through automation, the collection and processing of large volumes of complex data, and accessibility to healthcare services. This leads to more effective, efficient, and comprehensive healthcare delivery to citizens. Additionally, there are ethical issues related to these technologies that need to be addressed, such as data security, transparency, and accountability in technology use, as well as algorithmic biases, which involve the use of non-representative data or unfair categorizations that can exacerbate inequalities in healthcare. Despite these shortcomings, the development of AI algorithmic techniques, such as machine learning, artificial neural networks, and deep learning continues. Through these techniques, AI influences various categories of healthcare interventions, such as treatment, rehabilitation, precision medicine and administrative functions. Notable examples of focused applications in diagnosis include the detection of brain injuries, precancerous lesions, atrial fibrillation, and mental disorders, while in robotics, companion robots either facilitate the daily lives of the elderly and patients or assist healthcare staff in their clinical routine.

Key words: AI applications in healthcare, Artificial intelligence, Digital transformation, Ethics

Βιβλιογραφία

1. ΠΕΤΡΗΣ Α, ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ Ι, ΣΑΡΑΦΗΣ Π. Η ψηφιακή υγεία, η ηλεκτρονική συνταγογράφηση και η τήρηση του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων. *Αρχ Ελλ Ιατρ* 2023, 40:676–687
2. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ. Βίβλος ψηφιακού μετασχηματισμού 2020–2025. Αθήνα, 2021. Διαθέσιμο στο: https://digitalstrategy.gov.gr/website/static/website/assets/uploads/digital_strategy.pdf (πρόσβαση 21.4.2024)
3. ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ Ι, ΛΟΥΚΗΣ Ε, ΧΑΛΑΡΗΣ Ι. *Ψηφιακή διακυβέρνηση*. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 2022
4. ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ Ι. Νέες τεχνολογίες στις υπηρεσίες υγείας e-health/m-health. Στο: Σαράφης Π, Μπαμίδης Π (Επιμ.) *Υπηρεσίες υγείας – συστήματα και πολιτικές*. Broken Hill Publishers Ltd, Λευκωσία, 2020:731–746
5. BAJWA J, MUNIR U, NORI A, WILLIAMS B. Artificial intelligence in healthcare: Transforming the practice of medicine. *Future Healthc J* 2021, 8:e188–e194
6. ΚΟΥΤΣΟΥΡΗΣ Δ, ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ Ο. Τεχνητή νοημοσύνη και δι-
- αμόρφωση πολιτικών υγείας. Στο: Σαράφης Π, Μπαμίδης Π (Επιμ.) *Υπηρεσίες υγείας – συστήματα και πολιτικές*. Broken Hill Publishers Ltd, Λευκωσία, 2020:845–856
7. STOUMPOS AI, KITSIOS F, TALIAS MA. Digital transformation in healthcare: Technology acceptance and its applications. *Int J Environ Res Public Health* 2023, 20:3407
8. LÓPEZ-MARTÍNEZ F, NÚÑEZ-VALDEZ ER, GARCÍA-DÍAZ V, BURSAC Z. A case study for a big data and machine learning platform to improve medical decision support in population health management. *Algorithms* 2020, 13:102
9. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ Σ, ΣΠΥΡΟΥ Σ, ΜΠΑΜΙΔΗΣ Π. Πληροφοριακά συστήματα υγείας. Στο: Σαράφης Π, Μπαμίδης Π (Επιμ.) *Υπηρεσίες υγείας – συστήματα και πολιτικές*. Broken Hill Publishers Ltd, Λευκωσία, 2020:731–746
10. APOSTOLAKIS I, KONSTANTINIDIS K. Digital transformation in healthcare challenges and prospects. *Health Review* 2024, 35:4–6
11. VON GERICH H, MOEN H, BLOCK LJ, CHU CH, DEFOREST H, HOBEN-

- SACK M ET AL. Artificial Intelligence-based technologies in nursing: A scoping literature review of the evidence. *Int J Nurs Stud* 2022, 127:104153
12. HAYMOND S, McCUDDEN C. Rise of the machines: Artificial intelligence and the clinical laboratory. *J Appl Lab Med* 2021, 6:1640–1654
 13. KELLY S, KAYE SA, OVIEDO-TRESPALACIOS O. What factors contribute to the acceptance of artificial intelligence? A systematic review. *Telemat Inform* 2023, 77:101925
 14. SHAHEEN MY. Applications of Artificial Intelligence (AI) in healthcare: A review. *ScienceOpen* 2021
 15. CHEN M, DECARY M. Artificial intelligence in healthcare: An essential guide for health leaders. *Healthc Manage Forum* 2020, 33:10–18
 16. RAJAEI O, KHAYAMI SR, REZAEI MS. Smart hospital definition: Academic and industrial perspective. *Int J Med Inform* 2024, 182:105304
 17. ΒΙΔΑΛΗΣ Τ, ΜΟΛΛΑΚΗ Β, ΤΡΟΚΑΝΑΣ Θ. Έκθεση: Τεχνητή νοημοσύνη στην υγεία. Εθνική Επιτροπή Βιοηθικής και Τεχνοηθικής (ΕΕΒΤ), Αθήνα, 2023
 18. GUAN Z, LI H, LIU R, CAI C, LIU Y, LI J ET AL. Artificial intelligence in diabetes management: Advancements, opportunities, and challenges. *Cell Rep Med* 2023, 4:101213
 19. ΧΑΝΔΡΙΝΟΥ Α. Ηλεκτρονικός φάκελος υγείας και ιδιωτικότητα. *Το Βήμα του Ασκληπιού* 2023, 22:1–4
 20. MORLEY J, MACHADO CCV, BURR C, COWLS J, JOSHI I, TADDEO M ET AL. The ethics of AI in health care: A mapping review. *Soc Sci Med* 2020, 260:113172
 21. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ/ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ. Κανονισμός για την τεχνητή νοημοσύνη. Στρασβούργο, 2024. Διαθέσιμο στο: <https://www.europarl.europa.eu/plenary/el/texts-adopted.html>
 22. POMBO N, GARCIA N, BOUSSON K, FELIZARDO V. *Machine learning approaches to automated medical decision support systems*. IGI Global, Pennsylvania, 2015:183–203
 23. JIANG F, JIANG Y, ZHI H, DONG Y, LI H, MA S ET AL. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. *Stroke Vasc Neurol* 2017, 2:230–243
 24. SETH I, BULLOCH G, JOSEPH K, HUNTER-SMITH DJ, ROZEN WM. Use of artificial intelligence in the advancement of breast surgery and implications for breast reconstruction: A narrative review. *J Clin Med* 2023, 12:5143
 25. CORONATO A, NAEEM M, DE PIETRO G, PARAGLIOLA G. Reinforcement learning for intelligent healthcare applications: A survey. *Artif Intell Med* 2020, 109:101964
 26. MIRBABAIE M, STIEGLITZ S, FRICK NRJ. Artificial intelligence in disease diagnostics: A critical review and classification on the current state of research guiding future direction. *Health Technol* 2021, 11:693–731
 27. LEE DH, YOON SN. Application of artificial intelligence-based technologies in the healthcare industry: Opportunities and challenges. *Int J Environ Res Public Health* 2021, 18:271
 28. GIANSAANTI D. Precision medicine 2.0: How digital health and AI are changing the game. *J Pers Med* 2023, 13:1057
 29. ELENDU C, AMAECHI DC, ELENDU TC, JINGWA KA, OKOYE OK, OKAH MJ ET AL. Ethical implications of AI and robotics in healthcare: A review. *Medicine (Baltimore)* 2023, 102:e36671
 30. WANG A, XIU X, LIU S, QIAN Q, WU S. Characteristics of artificial intelligence clinical trials in the field of healthcare: A cross-sectional study on ClinicalTrials.gov. *Int J Environ Res Public Health* 2022, 19:13691
 31. EUROPEAN COMMISSION. CORDIS – EU research results. Artificial intelligence helps predict –and mitigate– post-surgical infections. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2020. Available at: <https://cordis.europa.eu/article/id/415866-artificial-intelligence-helps-predict-and-mitigate-post-surgical-infections> (accessed 21.4.2014)
 32. KLUMPP M, HINTZE M, IMMONEN M, RÖDENAS-RIGLA F, PILATI F, APARICIO-MARTÍNEZ F ET AL. Artificial intelligence for hospital health care: Application cases and answers to challenges in European hospitals. *Healthcare (Basel)* 2021, 9:961
 33. ZELEDNIK R, FOLDYNA B, ESLAMI P, WEISS J, ALEXANDE I, TARON J ET AL. Deep convolutional neural networks to predict cardiovascular risk from computed tomography. *Nat Commun* 2021, 12:715
 34. BENJAMENS S, DHUNNOO P, MESKÓ B. The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: an online database. *NPJ Digit Med* 2020, 3:118
 35. PARK CW, SEO SW, KANG N, KO BS, CHOI BW, PARK CM ET AL. Artificial intelligence in health care: Current applications and issues. *J Korean Med Sci* 2020, 35:e379
 36. KAUL V, ENSLIN S, GROSS SA. History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointest Endosc* 2020, 92:807–812
 37. BOHR A, MEMARZADEH K. The rise of artificial intelligence in healthcare applications. *Artificial Intelligence in Healthcare* 2020, 25–60
- Corresponding author:*
- C. Paschalidou, 816 75 Munich, Germany
e-mail: chrys.paschalidou@gmail.com