


# 1

## Εισαγωγή στη βαθιά ιατρική

---

Με αυτά τα μέσα, μπορούμε να ελπίζουμε ότι θα επιτύχουμε όχι έναν σ' αλήθεια θαυμαστό καινούργιο κόσμο, ούτε κάποιου είδους τέλεια Ουτοπία, αλλά τον πιο μετριοπαθή και πολύ πιο επιθυμητό στόχο: μια γνήσια ανθρώπινη κοινωνία.

— ALDOUS HUXLEY, 1948

« Α ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΖΗΤΗΣΕΤΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΑΘΟΛΟΓΟ ΣΑΣ ΝΑ ΣΑΣ γράψει αντικαταθλιπτικά», μου είπε ο ορθοπεδικός μου.

Η σύζυγός μου κι εγώ κοιταχτήκαμε, γουρλώνοντας τα μάτια, με απόλυτη δυσπιστία. Στην τελική, δεν είχα πάει στο προγραμματισμένο με τον γιατρό μου ραντεβού, έναν μήνα μετά την ολική αρθροπλαστική γόνατος, αναζητώντας ψυχιατρική συμβουλή.

Τα γόνατά μου ήταν προβληματικά από την εφηβεία μου, λόγω μιας σπάνιας πάθησης γνωστής ως διαχωριστικής οστεοχονδρίτιδας. Η αιτία αυτής της πάθησης εξακολουθεί να είναι άγνωστη, αλλά οι επιπτώσεις της είναι σαφείς. Όταν ήμουν 20 ετών και ξεκινούσα τις σπουδές μου στην Ιατρική Σχολή, είχα ήδη υποβληθεί σε χειρουργική αφαίρεση νεκρού οστού και σε εκτεταμένη χειρουργική επέμβαση αποκατάστασης και στα δύο γόνατα. Τα επόμενα σαράντα χρόνια, έπρεπε σταδιακά να περιορίσω τη σωματική μου δραστηριότητα, αποκλείοντας το τρέξιμο, το τένις, την πεζοπορία και την αερόβια άσκηση με ελλειπτικό μηχάνημα γυμναστικής. Ακόμη και το βόδισμα έγινε οδυνηρό, παρά τις ενέσεις στεροειδών και αρθρικού υγρού απευθείας στο γόνατο. Έτσι, σε ηλικία 62 ετών, υποβλήθηκα σε αρθροπλαστική του αριστερού γόνατος. Ήμουν ένας από τους 800.000 Αμερικανούς που έχουν υποβληθεί σε αυτή την εγχείρηση, την πιο συνηθισμένη ορθοπεδική επέμβαση. Ο ορθοπεδικός μου έκρινε ότι ήμουν ο τέλειος υποψήφιος: ήμουν αρκετά νέος, λεπτός και σε καλή φυσική κατάσταση. Είπε ότι το μόνο σημαντικό μειονέκτημα ήταν ο κίνδυνος λοίμωξης σε ποσοστό 1-2%. Έμελλε να ανακαλύψω άλλο ένα.

Μετά τη χειρουργική επέμβαση, ακολούθησα το τυπικό –κι απ’ ό,τι μου είπαν το μοναδικό– πρωτόκολλο φυσιοθεραπείας, που ξεκίνησε τη δεύτερη ημέρα μετά την επέμβαση. Το πρωτόκολλο είναι εντατικό και απαιτεί έντονες κάμψεις και εκτάσεις, προκειμένου να αποφευχθεί ο σχηματισμός ουλής στην άρθρωση. Καθώς δεν μπορούσα να επιτύχω σημαντική κάμψη, τοποθέτησα το κάθισμα ενός στατικού ποδηλάτου ψηλά και ούρλιαξα από τον πόνο προσπαθώντας να κάνω τις πρώτες λίγες πεταλιές. Η οξυκωδόνη δεν καταπράυνε καθόλου τον πόνο. Έναν μήνα μετά, το γόνατο ήταν μελανιασμένο, πολύ πρησμένο, έντονα σκληρό και άκαμπτο. Πονούσα τόσο πολύ που δεν κατάφερα να κοιμηθώ πάνω από μία ώρα συνεχόμενα και συχνά ξεσπούσα σε κλάματα. Αυτοί ήταν οι λόγοι για τους οποίους ο ορθοπεδικός μου μου συνέστησε αντικαταθλιπτικά. Κάτι τέτοιο έμοιαζε μάλλον τρελό. Στη συνέχεια όμως, ο χειρουργός συνέστησε εντατικότερο πρωτόκολλο φυσιοθεραπείας, παρά το γεγονός ότι κάθε συνεδρία με έκανε χειρότερα. Σχεδόν δεν μπορούσα να φύγω περπατώντας από το φυσιοθεραπευτήριο, ούτε να οδηγήσω μέχρι το σπίτι μου. Ο φρικτός πόνος, το πρήξιμο και η δυσκαμψία δεν υποχωρούσαν καθόλου. Αναζητούσα απελπισμένα ανακούφιση, δοκιμάζοντας τα πάντα, από βελονισμό, ηλεκτροβελονισμό, ψυχρό λέιζερ, διαδερμική ηλεκτρική νευρική διέγερση (TENS), τοπικές αλοιφές και συμπληρώματα διατροφής, όπως κουρκουμά, ξινοκέρασο και πολλά άλλα – έχοντας πλήρη συνείδηση ότι για καμία από αυτές τις υποτιθέμενες θεραπείες δεν υπήρχαν δημοσιευμένα δεδομένα που να υποστηρίζουν τη χρήση τους.

Δύο μήνες μετά το χειρουργείο, η σύζυγός μου, που μου συμπαραστεκόταν στις αναζητήσεις μου, ανακάλυψε ένα βιβλίο με τίτλο *Αρθροϊνωση*. Δεν είχα ξανακούσει τον όρο, αλλά αποδείχθηκε ότι έπασχα από αυτό. Η αρθροϊνωση είναι μια επιλοκή που απαντάται στο 2-3% των ασθενών έπειτα από αρθροπλαστική γόνατος. Το ποσοστό αυτό την καθιστά μη συχνή πάθηση, αλλά και πάλι είναι πιο συχνή από τον κίνδυνο λοίμωξης για τον οποίο με είχε προειδοποιήσει ο ορθοπεδικός μου. Η πρώτη σελίδα του βιβλίου έμοιαζε να περιγράφει τέλεια την κατάστασή μου: «Η αρθροϊνωση είναι καταστροφή», έλεγε. Πιο συγκεκριμένα, η αρθροϊνωση είναι μια ατέρμονη φλεγμονώδης αντίδραση στην αρθροπλαστική γόνατος, σαν απόρριψη της τεχνητής άρθρωσης, που προκαλεί έντονη ουλοποίηση. Στην επίσκεψη που πραγματοποίησα δύο μήνες μετά την επέμβαση, ρώτησα τον ορθοπεδικό μου αν είχα αρθροϊνωση. Απάντησε πως, σίγουρα, ναι, αλλά δεν μπορούσε να κάνει πολλά τον πρώτο χρόνο μετά την επέμβαση. Έπρεπε να αφήσει τη φλεγμονή να «εκτονωθεί» προτού επέμβει ξανά

για να αφαιρέσει τον ουλώδη ιστό. Η σκέψη ότι θα περνούσα έναν χρόνο στην κατάσταση που ήμουν ή ότι θα έπρεπε να υποβληθώ σε άλλη μία επέμβαση με αρρώσταινε ακόμη περισσότερο.

Ακολουθώντας τη σύσταση ενός φίλου, επισκέφθηκα μια άλλη φυσιοθεραπεύτρια. Σε διάστημα 40 ετών, είχε δει πολλούς ασθενείς με διαχωριστική οστεοχονδρίτιδα και γνώριζε ότι, για ασθενείς όπως εγώ, το θεραπευτικό πρωτόκολλο ρουτίνας ήταν ό,τι χειρότερο. Αντί για το τυπικό πρωτόκολλο που απαιτούσε εκτεταμένο, βεβιασμένο χειρισμό για μεγιστοποίηση της κάμψης και έκτασης του γόνατος (που παραδόξως διεγείρει περισσότερο τον σχηματισμό ουλής), η δική της προσέγγιση ήταν ήπια: μου σταμάτησε όλα τα βάρη και τις ασκήσεις και τη χρήση αντιφλεγμονωδών φαρμάκων. Μου έδωσε μια χειρόγραφη σελίδα με οδηγίες και μου έστειλε καθημερινά μηνύματα, ρωτώντας με πώς πάει «το γόνατό μας». Σώθηκα, και άρχισα γρήγορα να αναρρώνω. Σήμερα, χρόνια αργότερα, ακόμη πρέπει να δένω το γόνατό μου καθημερινά για να αντεπεξέρχομαι στην κακή επούλωσή του. Πολλή από αυτήν την ταλαιπωρία θα μπορούσα να την έχω αποφύγει.

Όπως θα δούμε σε αυτό το βιβλίο, η τεχνητή νοημοσύνη (TN) θα μπορούσε να είχε προβλέψει ότι η εμπειρία μου μετά τη χειρουργική επέμβαση θα ήταν περίπλοκη. Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, με την προϋπόθεση ότι έμπειροι φυσιοθεραπευτές, όπως η γυναίκα που τελικά βρήκα, κοινοποιούν τα δεδομένα τους, σίγουρα θα υποδείκνυε ότι χρειαζόμουν ένα ειδικό, εξατομικευμένο φυσιοθεραπευτικό πρωτόκολλο. Δεν θα ήταν μόνο οι γιατροί που θα συνειδητοποιούσαν καλύτερα τους κινδύνους, με τους οποίους έρχονται αντιμέτωποι οι ασθενείς τους. Ένας εικονικός ιατρικός βοηθός, εγκατεστημένος στο έξυπνο κινητό τηλέφωνό μου ή στο υπνοδωμάτιό μου, θα μπορούσε να προειδοποιήσει εμένα, τον ασθενή, απευθείας για τον υψηλό κίνδυνο αρθροϊνώσης που ενέχει το τυπικό πρωτόκολλο φυσιοθεραπείας. Θα μπορούσε ακόμη και να μου πει πού θα έπρεπε να απευθυνθώ για μια ήπια αποκατάσταση, ώστε να αποφύγω αυτό το τρομακτικό πρόβλημα. Στην πραγματικότητα, ήμουν παντελώς απροετοίμαστος. Ο ορθοπεδικός μου δεν είχε καν λάβει υπόψη του το ιστορικό διαχωριστικής οστεοχονδρίτιδας που είχα, όταν συζητούσαμε τον κίνδυνο της χειρουργικής επέμβασης, μολονότι αργότερα αναγνώρισε ότι όντως έπαιξε καθοριστικό ρόλο στα σοβαρά προβλήματα που αντιμετώπισα.

Η προηγμένη τεχνολογία, οι αλγόριθμοι ή οι μηχανές δεν θα διορθώσουν πολλά από τα κακώς κείμενα στην υγειονομική περίθαλψη. Η ρομποτική απόκριση του γιατρού μου στον πόνο μου δείχνει ότι η συνιστώσα που έλειπε ήταν η φροντίδα. Βέβαια, η επέμβαση έγινε με επιδεξιότητα, αλλά αυτό είναι

μόνο το τεχνικό κομμάτι. Η ιδέα ότι θα έπρεπε να πάρω αντικαταθλιπτικά δείχνει τη βαθιά έλλειψη ανθρώπινης επαφής και ενσυναίσθησης στη σημερινή ιατρική. Ήμουν βέβαια ψυχικά καταβεβλημένος, αλλά η κατάθλιψη δεν ήταν επ' ουδενί το πρόβλημα· το πρόβλημα ήταν ότι πονούσα πολύ και ήμουν δυσκίνητος σαν να φορούσα πανοπλία. Η απουσία συμπόνιας από πλευράς του ορθοπεδικού ήταν αισθητή. Όλους τους μήνες μετά τη χειρουργική επέμβαση, δεν επικοινωνήσε ούτε μία φορά μαζί μου για να δει πώς ήμουν. Η φυσιοθεραπεύτρια όχι μόνο είχε τις ιατρικές γνώσεις και την εμπειρία για να αντιμετωπίσει την κατάστασή μου, αλλά ενδιαφέρθηκε πραγματικά για εμένα. Δεν είναι να απορεί κανείς με την επιδημία των οπιοειδών. Είναι πολύ πιο γρήγορο και πιο εύκολο για τους γιατρούς να συνταγογραφούν ναρκωτικά από το να ακούνε και να κατανοούν τους ασθενείς.

Σχεδόν κάθε ασθενής με χρόνια νόσημα έχει «κακοποιηθεί», όπως εγώ. Είναι κάτι που συμβαίνει πάρα πολύ συχνά. Είμαι τυχερός που αποτελώ μέρος του ιατρικού συστήματος, αλλά, όπως διαπιστώσατε, το πρόβλημα είναι τόσο διαδεδομένο που ακόμη και η εκ των έσω γνώση δεν είναι απαραίτητως αρκετή για να εξασφαλίσει καλή περίθαλψη. Η τεχνητή νοημοσύνη από μόνη της δεν πρόκειται να λύσει το πρόβλημα. Είναι απαραίτητη η συμβολή των ανθρώπων. Όσο οι μηχανές γίνονται εξυπνότερες και αναλαμβάνουν τις κατάλληλες εργασίες, τόσο ευκολότερο μπορεί να είναι στην πραγματικότητα να γίνουν οι άνθρωποι πιο ανθρώπινοι.

Η TN στην ιατρική δεν είναι απλώς μια φουτουριστική υπόθεση. Η δύναμη της TN έχει ήδη αξιοποιηθεί βοηθώντας να σώζονται ζωές. Ο στενός φίλος μου, δρ. Στήβεν Κίνγκσμορ, είναι γενετιστής και επικεφαλής ενός πρωτοποριακού προγράμματος στο Rady Children's Hospital (Νοσοκομείο Παίδων), στο Σαν Ντιέγκο. Πρόσφατα, ο ίδιος και η ομάδα του κέρδισαν το Παγκόσμιο Ρεκόρ Γκίνες για την πλήρη αλληλούχηση και ερμηνεία γονιδιώματος από δείγμα αίματος, σε μόλις 19,5 ώρες.<sup>1</sup>

Λίγο πριν από το γεγονός αυτό, ένα υγιές νεογέννητο αγόρι, που θήλαζε καλά, πήγε σπίτι του την τρίτη ημέρα της ζωής του. Ωστόσο, την όγδοη ημέρα, η μητέρα του το έφερε στα επείγοντα του νοσοκομείου Rady. Παρουσίαζε επαναλαμβανόμενες επιληπτικές κρίσεις, γνωστές ως status epilepticus. Δεν υπήρχε ένδειξη λοίμωξης. Η αξονική τομογραφία εγκεφάλου ήταν φυσιολογική, και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα έδειξε μόνο την ηλεκτρική καταγραφή συνεχών κρίσεων. Χορηγήθηκαν διάφορα ισχυρά φάρμακα που δεν κατάφεραν να μειώσουν τις κρίσεις. Αντιθέτως, αυτές γίνονταν όλο και πιο έντονες. Η πρόγνωση για το βρέφος, στην οποία συμπεριλαμβάνονταν η εγκεφαλική βλάβη και ο θάνατος, ήταν ζοφερή.

Στάλθηκε δείγμα αίματος στο Ινστιτούτο Γονιδιωματικής του νοσοκομείου Rady για ταχεία αλληλούχηση ολόκληρου του γονιδιώματος. Η αλληλούχηση περιλάμβανε 125 γιγαμπάιτ δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων σχεδόν 5 εκατομμυρίων θέσεων, όπου το γονιδίωμα του παιδιού διέφερε από το πιο σύνηθες. Χρειάστηκαν 20 δευτερόλεπτα προκειμένου μια μορφή TN που ονομάζεται επεξεργασία φυσικής γλώσσας (natural-language processing) να επεξεργαστεί τον ηλεκτρονικό ιατρικό φάκελο του αγοριού και να προσδιορίσει 88 φαινοτυπικά χαρακτηριστικά (σχεδόν εικοσαπλάσια από εκείνα που είχαν συμπεριλάβει οι γιατροί στη λίστα τους). Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (machine-learning) κοσκίνισαν ταχύτατα τις περίπου 5 εκατομμύρια γενετικές παραλλαγές και βρήκαν τις κατά προσέγγιση 700.000 σπάνιες παραλλαγές. Οι 962 εξ αυτών είναι γνωστό ότι προκαλούν παθήσεις. Συνδυάζοντας αυτές τις πληροφορίες με τα φαινοτυπικά δεδομένα του αγοριού, το σύστημα εντόπισε έναν φαινότυπο, σε ένα γονίδιο που ονομάζεται ALDH7A1, ως τον πιθανότερα υπεύθυνο. Η παραλλαγή αυτή είναι πολύ σπάνια. Απαντάται σε λιγότερο από 0,01% του πληθυσμού, και προκαλεί μεταβολική δυσλειτουργία που οδηγεί σε επιληπτικές κρίσεις. Ευτυχώς, οι επιπτώσεις της μπορούν να αναστραφούν με συμπληρώματα βιταμίνης Β6 και αργινίνης, ενός αμινοξέος, παράλληλα με περιορισμό της λυσίνης, ενός δεύτερου αμινοξέος. Με αυτές τις αλλαγές στη διατροφή, οι επιληπτικές κρίσεις σταμάτησαν απότομα και το αγόρι επέστρεψε στο σπίτι του 36 ώρες αργότερα! Κατά την επανεξέταση, ήταν απολύτως υγιές, χωρίς σημάδια εγκεφαλικής βλάβης ή αναπτυξιακής καθυστέρησης.

Το κλειδί για τη διάσωση της ζωής αυτού του αγοριού ήταν να προσδιοριστεί το γενεσιουργό αίτιο της πάθησής του. Σήμερα, πολλά νοσοκομεία σε ολόκληρο τον κόσμο πραγματοποιούν αλληλούχηση των γονιδιωμάτων άρρωστων νεογνών και χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη για να μάθουν όσα μπορεί να μας πληροφορήσει η γονιδιωματική για τον ασθενή. Αν και πολύ έμπειροι γιατροί ενδεχομένως να έχουν βρει τη σωστή θεραπευτική αγωγή, οι μηχανές μπορούν να το επιτύχουν πολύ ταχύτερα και καλύτερα από τον άνθρωπο.

Έτσι, ακόμη και τώρα, οι συνδυασμένες προσπάθειες και τα ταλέντα των ανθρώπων και της TN, όταν συνεργάζονται, μπορούν να οδηγήσουν σε ιατρικό θρίαμβο. Προτού όμως γίνουμε υπεραισιόδοξοι για τις δυνατότητες της TN, ας δούμε μια πρόσφατη εμπειρία με έναν ασθενή μου.

«Θέλω να χειρουργηθώ», μου είπε ο ασθενής μου στο τηλέφωνο έπειτα από μια επίσκεψη.

Ένας ασπρομάλλης, γαλανομάτης, εβδομηντάρης άνδρας, που είχε διατελέσει διευθυντής σε πολλές εταιρείες, έπασχε από μια σπάνια και σοβαρή πνευμονική πάθηση γνωστή ως ιδιοπαθή – μια σοφιστική ιατρική λέξη αντί για «αγνώστου αιτιολογίας»– πνευμονική ίνωση. Το γεγονός ότι ο ίδιος και ο πνευμονολόγος του είχαν εξετάσει το ενδεχόμενο πιθανής μεταμόσχευσης πνεύμονα σε περίπτωση επιδείνωσης έδειχνε τη σοβαρότητα της κατάστασης. Σε αυτό το πλαίσιο, άρχισε να υποφέρει από ένα νέο σύμπτωμα: πρόωρης έναρξης κόπωση που τον εμπόδιζε να περπατήσει πάνω από ένα τετράγωνο ή να κολυπήσει από τη μια άκρη της πισίνας στην άλλη. Επισκέφθηκε τον πνευμονολόγο του, υποβλήθηκε σε έλεγχο της πνευμονικής λειτουργίας, και οι εξετάσεις δεν έδειξαν κάποια αλλαγή. Αυτό υποδήλωνε σαφέστατα ότι δεν έφταιγαν οι πνεύμονές του.

Με επισκέφθηκε στη συνέχεια, μαζί με τη σύζυγό του, πολύ ανήσυχος και στενοχωρημένος. Μπήκε στο εξεταστήριο με κουρασμένο και αργό βηματισμό. Με εξέπληξαν η ωχρότητα και η απελπισμένη όψη του. Η σύζυγός του επιβεβαίωσε την περιγραφή των συμπτωμάτων του. Είχε μειωθεί έντονα η ικανότητά του να μετακινείται, ακόμη και να εκτελεί τις καθημερινές δραστηριότητές του. Ούτε λόγος για να καταβάλει προσπάθεια.

Αφού μελέτησα το ιστορικό και τις εξετάσεις του, ανέφερα το ενδεχόμενο να έχει καρδιακή νόσο. Λίγα χρόνια νωρίτερα, αφότου είχε αρχίσει να υποφέρει από πόνο στη γαστροκνημία όταν περπατούσε, είχε υποβληθεί σε τοποθέτηση ενδοπρόσθεσης (στεντ) στη λαγόνια αρτηρία του αριστερού ποδιού του. Αυτή η παλαιότερη κατάσταση με ανησύχησε ως προς τη συσσώρευση χοληστερόλης σε κάποια στεφανιαία αρτηρία, μολονότι δεν υπήρχαν παράγοντες κινδύνου για καρδιακή νόσο, εκτός της ηλικίας και του φύλου του. Γι' αυτό τον παρέπεμψα για αξονική τομογραφία με σκιαγραφικό, προκειμένου να χαρτογραφήσουμε τις αρτηρίες του. Η δεξιά στεφανιαία αρτηρία έδειξε στένωση κατά 80%, όμως, οι άλλες δύο αρτηρίες δεν είχαν σημαντική βλάβη. Τα ευρήματα δεν έβγαζαν νόημα. Η δεξιά στεφανιαία αρτηρία δεν τροφοδοτεί σε μεγάλο βαθμό το μυοκάρδιο και, στα 30 χρόνια της εμπειρίας μου ως καρδιολόγου (τα 20 εκ των οποίων περιλάμβαναν διάνοιξη στεφανιαίων αρτηριών), δεν μπορούσα να σκεφτώ κανέναν ασθενή με τόσο σοβαρή κόπωση που να παρουσίαζε στένωση μόνο της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας.

Εξήγησα στον ίδιο και στη σύζυγό του ότι πραγματικά δεν μπορούσα να συνδέσω τα στοιχεία και ότι η κατάσταση της αρτηρίας ίσως να μην είχε καμία σχέση με την κόπωση. Ωστόσο, η υποκείμενη σοβαρή κατάσταση των πνευμόνων του έκανε πιθανό το ενδεχόμενο η στένωση να διαδραματίζει

κάποιον ρόλο. Δυστυχώς, η κατάσταση των πνευμόνων του μεγάλωνε επίσης και τον κίνδυνο από τη θεραπεία.

Τον άφησα να αποφασίσει. Το σκέφτηκε λίγες ημέρες και αποφάσισε να προχωρήσει στην τοποθέτηση στεντ στη δεξιά στεφανιαία αρτηρία του. Με εξέπληξε κάπως, γιατί με τα χρόνια απέφευγε κάθε είδους επέμβαση, ακόμη και τις φαρμακευτικές αγωγές. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι αμέσως μετά την επέμβαση αισθανόταν γεμάτος ενέργεια. Επειδή το στεντ τοποθετήθηκε μέσω της αρτηρίας του καρπού του, επέστρεψε στο σπίτι του λίγες μόνο ώρες αργότερα. Το ίδιο βράδυ, περπάτησε αρκετά τετράγωνα και πριν το τέλος της εβδομάδας κολυπούσε κάνοντας πολλές διαδρομές στην πισίνα. Μου είπε ότι αισθανόταν δυνατότερος και καλύτερα όσο ποτέ τα τελευταία χρόνια. Αυτή η εντυπωσιακή βελτίωσή του μάλιστα ως προς την ικανότητα άσκησης διατηρήθηκε και λίγους μήνες αργότερα.

Το αξιοσημείωτο σε αυτή την ιστορία είναι πως ένας αλγόριθμος ηλεκτρονικού υπολογιστή δεν θα είχε εντοπίσει το πρόβλημα. Παρότι προωθείται η χρήση της TN για τη βελτίωση της υγειονομικής περίθαλψης, εάν είχε εφαρμοστεί στα δεδομένα του συγκεκριμένου ασθενούς και στο σύνολο της ιατρικής βιβλιογραφίας, θα είχε καταλήξει στη μη πραγματοποίηση της επέμβασης, επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία που να δείχνουν ότι η διάνοιξη της δεξιάς στεφανιαίας αρτηρίας ανακουφίζει από τα συμπτώματα της κόπωσης – και η TN έχει την ικανότητα να μαθαίνει τι πρέπει να κάνει εξετάζοντας μόνο υφιστάμενα στοιχεία. Οι δε ασφαλιστικές εταιρείες που χρησιμοποιούν αλγορίθμους θα είχαν σίγουρα αρνηθεί να καταβάλουν την αποζημίωση για την επέμβαση.

Όμως, το όφελος που είχε ο ασθενής ήταν σημαντικό και μόνιμο. Επρόκειτο, άραγε, για ανταπόκριση σε εικονικό φάρμακο (placebo); Κάτι τέτοιο φαίνεται σχεδόν απίθανο. Γνωρίζω αυτόν τον άνθρωπο εδώ και πολλά χρόνια και ξέρω ότι έχει την τάση να υποβαθμίζει οποιαδήποτε αλλαγή, θετική ή αρνητική, στην κατάσταση της υγείας του. Η προσωπικότητά του μοιάζει λίγο με την τηλεοπτική περσόνα του Λάρι Ντέιβιντ,\* έχει συγκρατημένο ενθουσιασμό και είναι κάπως δύστροπος. Φαινομενικά, θα ήταν ο τελευταίος άνθρωπος που θα εκδήλωνε ένα υπερβολικό εικονικό όφελος.

Εκ των υστέρων, η εξήγηση πιθανότατα έχει κάποια σχέση με τη σοβαρή πνευμονοπάθειά του. Η πνευμονική ίνωση προκαλεί υψηλές πιέσεις στις

---

\* Αμερικανός κωμικός, συγγραφέας, σκηνοθέτης και τηλεοπτικός παραγωγός. Πρωταγωνιστεί στην κωμωδία καταστάσεων *Curb Your Enthusiasm* (Μην τρελαίνεσαι, 2000), όπου υποδύεται μια μυθοπλαστική εκδοχή του εαυτού του. (Σ.τ.Μ.)



πνευμονικές αρτηρίες, οι οποίες τροφοδοτούν με αίμα τους πνεύμονες, όπου οξυγονώνεται το αίμα. Η δεξιά κοιλία είναι υπεύθυνη για την άντληση αυτού του αίματος στην καρδιά. Η υψηλή αρτηριακή πίεση σήμαινε ότι χρειαζόταν μεγάλη προσπάθεια προκειμένου να εισέλθει περισσότερο αίμα. Αυτό φαίνεται ότι καταπονούσε τη δεξιά κοιλία. Το στεντ στη δεξιά στεφανιαία αρτηρία, που τροφοδοτεί τη δεξιά κοιλία, αναμενόταν ότι θα ανακούφιζε αυτή την κοιλότητα της καρδιάς. Τέτοιου είδους περίπλοκη αλληλεπίδραση αναφορικά με την παροχή αίματος στην καρδιά ενός ατόμου με μια σπάνια πνευμονοπάθεια δεν είχε προηγούμενο στην ιατρική βιβλιογραφία.

Το περιστατικό αυτό μας θυμίζει ότι καθένας από εμάς αποτελεί μια μοναδική πολυπλοκότητα που ποτέ δεν θα αναλυθεί πλήρως από τις μηχανές. Το περιστατικό τονίζει επίσης την ανθρώπινη πλευρά της ιατρικής. Εμείς οι γιατροί το ξέρουμε εδώ και πολύ καιρό ότι οι ασθενείς γνωρίζουν το σώμα τους και ότι χρειάζεται να τους ακούμε. Οι αλγόριθμοι είναι ψυχρά, απάνθρωπα προγνωστικά εργαλεία που δεν θα κατανοήσουν ποτέ μια ανθρώπινη ύπαρξη. Τελικά, ο κύριος αυτός είχε την αίσθηση ότι η στένωση της αρτηρίας του ήταν η αιτία των συμπτωμάτων του, και είχε δίκιο. Ήμουν επιφυλακτικός και σίγουρα δεν φανταζόμουν το μέγεθος του αποτελέσματος, αλλά με ενθουσίασε η βελτίωσή του.



Η TN παρεισφρεί ύπουλα στις ζωές μας. Έχει ήδη διεισδύσει στην καθημερινότητά μας, από την αυτόματη ολοκλήρωση των λέξεων, καθώς δακτυλολογαφούμε, έως τις αυθαίρετες προτάσεις με βάση τις αναζητήσεις στο Google, τις μουσικές υποδείξεις με βάση το ιστορικό ακρόασης, έως και τους εικονικούς βοηθούς, όπως την Alexa, που απαντάει σε ερωτήσεις ή σβήνει τα φώτα. Ως έννοια, η TN άρχισε να χρησιμοποιείται πριν από 80 και πλέον χρόνια. Η ονομασία της επινοήθηκε τη δεκαετία του 1950, αλλά μόνο πρόσφατα φάνηκε ο πιθανός αντίκτυπός της στην υγειονομική περίθαλψη. Αυτό που υπόσχεται η TN στην ιατρική είναι να παράσχει σύνθετες, πανοραμικές όψεις των ατομικών ιατρικών δεδομένων, να βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων, να συμβάλει στην αποφυγή σφαλμάτων, όπως η εσφαλμένη διάγνωση και οι περιττές επεμβάσεις, να βοηθά στην παραπομπή και στην ερμηνεία κατάλληλων εξετάσεων και να προτείνει θεραπείες. Όλα αυτά βασίζονται σε δεδομένα. Πλέον, έχουμε μπει για τα καλά στην εποχή

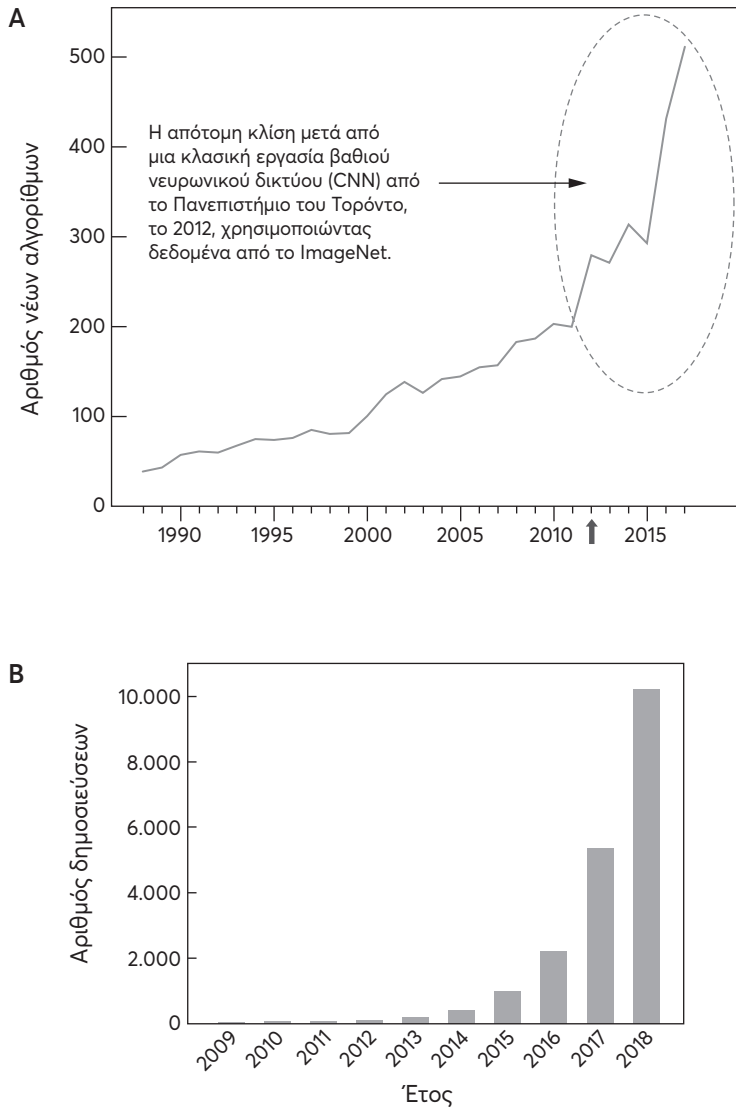


των ογκωδών δεδομένων. Ο κόσμος παράγει zettabytes [εξάκις εκατομμύρια ψηφιολέξεις (bytes) ή επαρκή δεδομένα για να γεμίσει χονδρικά ένα τρισεκατομμύριο smartphone] δεδομένων κάθε χρόνο. Σε ό,τι αφορά την ιατρική, τα μεγάλα σύνολα δεδομένων προέρχονται από την αλληλούχηση ολόκληρου του γονιδιώματος, τις εικόνες υψηλής ανάλυσης και τη συνεχή παραγωγή δεδομένων από φορητούς αισθητήρες. Ενώ τα δεδομένα εξακολουθούν να παράγονται μαζικά, στην πραγματικότητα έχουμε επεξεργαστεί μόνο ένα ελάχιστο μέρος τους. Σύμφωνα με τις περισσότερες εκτιμήσεις, λιγότερο από 5%, το πολύ. Κατά μία έννοια, όλα γίνονταν χωρίς προοπτική – μέχρι σήμερα. Οι εξελίξεις στην ΤΝ θέτουν υπό έλεγχο την ανεξέλεγκτη συσσώρευση των ογκωδών δεδομένων αξιοποιώντας τα οφέλη τους.

Υπάρχουν πολλές υποκατηγορίες ΤΝ. Παραδοσιακά, η μηχανική μάθηση περιλάμβανε τη λογιστική παλινδρόμηση, τα δίκτυα Bayes, τους αλγορίθμους Random Forest, τις μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, τα έμπειρα συστήματα και πολλά άλλα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο Bayes είναι ένα πρότυπο που παρέχει πιθανότητες. Εάν είχα τα συμπτώματα ενός ασθενούς, για παράδειγμα, ένα τέτοιο πρότυπο θα μπορούσε να δώσει έναν κατάλογο πιθανών διαγνώσεων, με την πιθανότητα της καθεμίας. Είναι περίεργο ότι στη δεκαετία του 1990, όταν δημιουργούσαμε δέντρα ταξινόμησης και παλινδρόμησης ώστε τα δεδομένα που συλλέγαμε να μιλούν από μόνα τους και να περιέρχονται σε κατάσταση «αυτο-ανάλυσης», χωρίς τη μεροληψία της ερμηνείας μας, δεν χρησιμοποιούσαμε τον όρο «μηχανική μάθηση». Τώρα πια αυτή η μορφή στατιστικής έχει αναβαθμιστεί σε μεγάλο βαθμό και χαίρει εκτίμησης. Τα τελευταία χρόνια, τα εργαλεία ΤΝ επεκτάθηκαν σε πρότυπα βαθιών δικτύων (deep network), όπως η βαθιά μάθηση και η ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning) (θα εμβαθύνουμε περισσότερο στο Κεφάλαιο 4).

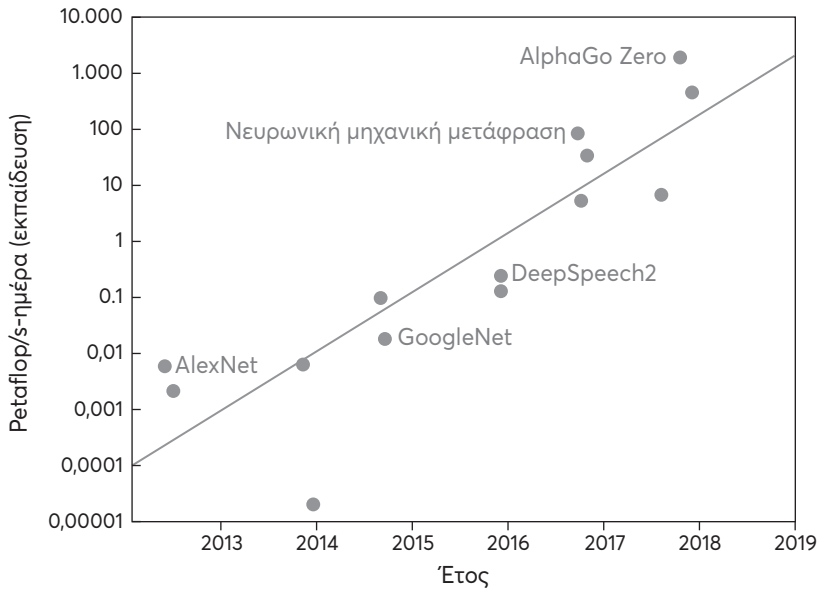
Η υποκατηγορία της βαθιάς μάθησης στην ΤΝ απέκτησε εξαιρετική δυναμική από το 2012 που δημοσιεύθηκε μια κλασική πλέον μελέτη για την αναγνώριση εικόνας.<sup>2</sup>

Ο αριθμός των νέων ΤΝ-αλγορίθμων βαθιάς μάθησης και των αντίστοιχων δημοσιεύσεων έχει εκτιναχθεί (Εικόνα 1.1), με εκθετική αύξηση της μηχανικής αναγνώρισης προτύπων από τεράστια σύνολα δεδομένων. Η κατά 300.000 φορές αύξηση σε petaflops [ταχύτητα υπολογισμού που ισούται με  $10^{15}$  πράξεις με αριθμούς κινητής υποδιαστολής (floating-point operations) ανά δευτερόλεπτο] ανά ημέρα υπολογισμού που χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση της ΤΝ αντικατοπτρίζει καλύτερα την αλλαγή από το 2012 (Εικόνα 1.2).



**ΕΙΚΟΝΑ 1.1** Η αύξηση των TN-αλγορίθμων βαθιάς μάθησης από τότε που δημοσιεύθηκε η μελέτη για την αναγνώριση εικόνας το 2012.

Πηγές: Σχήμα A, τροποποιημένο από A. Mislove, «To Understand Digital Advertising, Study Its Algorithms», *The Economist* (2018): <https://econ.st/3EeFfef>. Σχήμα B, τροποποιημένο από C. Mims, «Should Artificial Intelligence Copy the Human Brain?», *Wall Street Journal* (2018): <https://on.wsj.com/3DSvIrN>.



**ΕΙΚΟΝΑ 1.2** Η εκθετική αύξηση της υπολογιστικής –κατά 300.000 φορές– στους μεγαλύτερους κύκλους εκπαίδευσης στην ΤΝ.

Πηγή: Τροποποιημένη από D. Hernandez & D. Amodei, «AI and Compute», *OpenAI* (2018): <https://bit.ly/3DStqZV>.

Τα τελευταία λίγα χρόνια, πολλές μελέτες που βασίζονται στη βαθιά μάθηση έχουν δημοσιευθεί σε κορυφαία ιατρικά περιοδικά μετά από κρίση. Πολλοί στην ιατρική κοινότητα ειλικρινά ξεπλάγησαν από το τι θα μπορούσε να επιτύχει η βαθιά μάθηση. Η ΤΝ έχει αποδεδειγμένη ικανότητα να διαγιγνώσκει ορισμένους τύπου καρκίνου του δέρματος εξίσου καλά, ή και ακόμη καλύτερα, από τους ειδικευμένους δερματολόγους, να εντοπίζει ειδικές ανωμαλίες του καρδιακού ρυθμού όπως οι καρδιολόγοι, να διαβάσει ιατρικές τομογραφίες ή παθολογοανατομικά πλακίδια εξίσου καλά με έμπειρους, υψηλής εξειδίκευσης ακτινολόγους και παθολογοανατόμους, αντίστοιχα, να διαγιγνώσκει ποικίλες οφθαλμικές παθήσεις εξίσου καλά με τους οφθαλμιάτρους και να προβλέπει την αυτοκτονία καλύτερα από τους επαγγελματίες της ψυχικής υγείας. Οι ικανότητες αυτές αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο με τη βοήθεια της αναγνώρισης προτύπων, με μηχανές που μαθαίνουν αυτά τα πρότυπα έπειτα από εκπαίδευση με εκατοντάδες χιλιάδες και, αρκετά σύντομα, με εκατομμύρια παραδείγματα. Τέτοιου

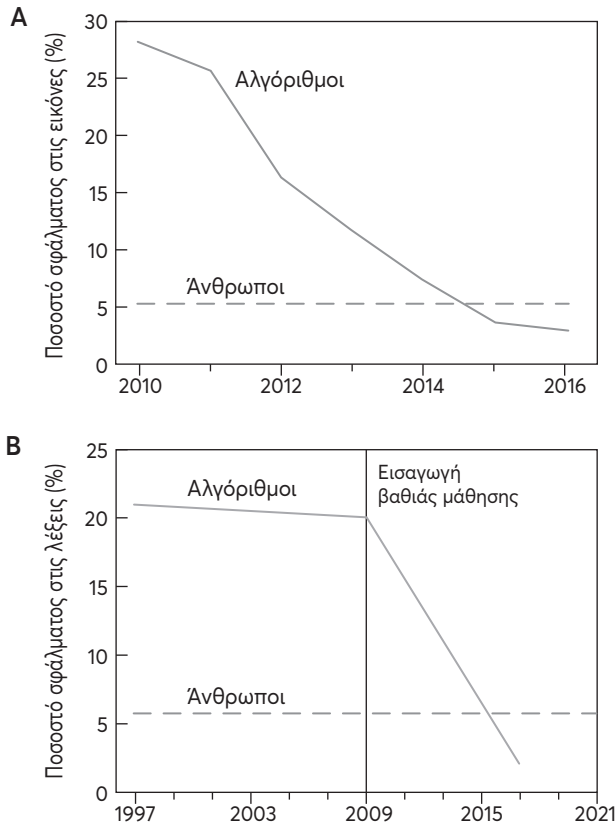
**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1** Ατελής κατάλογος με τις εξωπραγματικές προσδοκίες από την TN στην υγειονομική περίθαλψη

- 
- Θα αποδώσουν καλύτερα από τους γιατρούς σε όλες τις εργασίες
  - Θα διαγνώσουν ό,τι δεν μπορεί να διαγνωστεί
  - Θα θεραπεύσουν ό,τι δεν μπορεί να θεραπευτεί
  - Θα δουν ό,τι δεν φαίνεται σε τομογραφίες και πλακίδια
  - Θα προβλέψουν ό,τι δεν μπορεί να προβλεφθεί
  - Θα ταξινομήσουν ό,τι δεν μπορεί να ταξινομηθεί
  - Θα απαλείψουν τις ανεπάρκειες στη ροή εργασιών
  - Θα απαλείψουν τις εισαγωγές και επανεισαγωγές στο νοσοκομείο
  - Θα απαλείψουν την πληθώρα μη αναγκαίων θέσεων εργασίας
  - 100% συμμόρφωση στη θεραπεία
  - Μηδενική βλάβη για τον ασθενή
  - Θα θεραπεύσουν τον καρκίνο
- 

είδους συστήματα γίνονται ήδη όλο και καλύτερα, με τα ποσοστά σφάλματος αναφορικά με την εκμάθηση από δεδομένα που βασίζονται σε κείμενο, λόγο και εικόνα να πέφτουν πολύ κάτω από το 5%, ξεπερνώντας τάχιστα τα ανθρώπινα όρια (Εικόνα 1.3). Μολονότι πρέπει να υπάρχει κάποιο όριο στο οποίο να σταματά η μάθηση, δεν το έχουμε αγγίξει ακόμη. Σε αντίθεση μάλιστα με τους ανθρώπους που κουράζονται, έχουν δύσκολες μέρες, μπορεί να γίνουν συναισθηματικοί, να τους λείπει ύπνος ή να αφαιρούνται, οι μηχανές είναι σταθερές, μπορούν να εργάζονται ολόκληρο το εικοσιτετράωρο, ολόκληρη την εβδομάδα, χωρίς διακοπές και χωρίς παράπονα (μολονότι αμφότεροι μπορεί να αρρωστήσουν). Είναι κατανοητό ότι αυτό εγείρει ερωτήματα σχετικά με τον μελλοντικό ρόλο των γιατρών και τον απρόβλεπτο αντίκτυπο της TN στην άσκηση της ιατρικής.

Δεν πιστεύω ότι η TN βαθιάς μάθησης θα λύσει όλα τα προβλήματα της σύγχρονης υγειονομικής περίθαλψης, αλλά ο κατάλογος που φαίνεται στον Πίνακα 1.1 δίνει μια ιδέα του πόσο ευρέως μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτό το εργαλείο και πόσο έχει προωθηθεί. Με την πάροδο του χρόνου, η TN θα μας δώσει μια ώθηση προς καθέναν από αυτούς τους στόχους, αλλά θα πρόκειται για έναν μαραθώνιο χωρίς γραμμή τερματισμού.

Τα παραδείγματα βαθιάς μάθησης είναι περιορισμένα. Ο προγνωστικός δείκτης της κατάθλιξης δεν κάνει για τη δερματολογία. Οι αλγόριθμοι νευρωνικών δικτύων εξαρτώνται από την αναγνώριση προτύπων, κάτι που ταιριάζει σε ορισμένες ειδικότητες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό

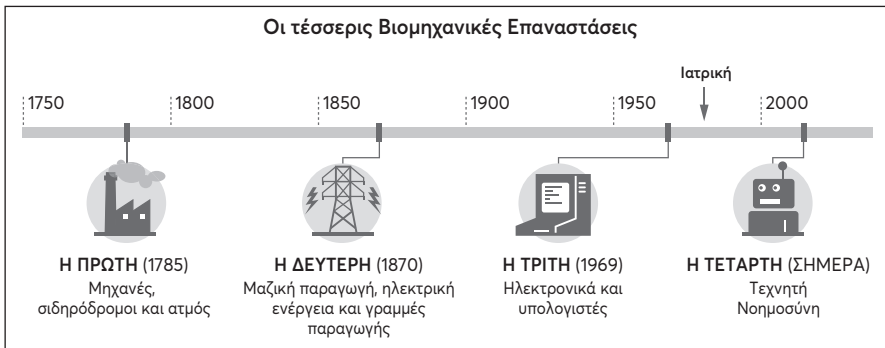


**ΕΙΚΟΝΑ 1.3** Η αύξηση της ακρίβειας της ΤΝ των μηχανών ως προς την ερμηνεία εικόνας (Α) και την ερμηνεία ομιλίας (Β). Αμφότερες υπερέρχουν της ανθρώπινης απόδοσης, όταν πρόκειται για μικρής κλίμακας εργασίες.

Πηγή: Σχήμα Α, τροποποιημένο από V. Sze κ.ά., «Efficient Processing of Deep Neural Networks: A Tutorial and Survey», *Proceedings of the IEEE* (2017); 105(12), 2295-2329. Σχήμα Β, τροποποιημένο από «Performance Trends in AI», *Word Press Blog* (2018): <https://bit.ly/3zZE7si>.

από τις εικόνες, όπως οι ακτινολόγοι που κοιτούν τομογραφίες ή οι παθολογοανατόμοι που εξετάζουν πλακίδια, τους οποίους αποκαλώ «γιατρούς με πρότυπα». Σε μικρότερο, αλλά και πάλι σημαντικό, βαθμό όλοι οι κλινικοί γιατροί έχουν κάποιες προτυποποιημένες εργασίες στην καθημερινότητά τους που ενδεχομένως θα εξαρτώνται από την υποστήριξη αλγορίθμων ΤΝ.

Η πλειονότητα των δημοσιευμένων παραδειγμάτων βαθιάς μάθησης αντιπροσωπεύουν μόνο *in silico*, ή αλλιώς βασισμένη σε ηλεκτρονικό



**ΕΙΚΟΝΑ 1.4** Οι τέσσερις Βιομηχανικές Επαναστάσεις.

Πηγή: Τροποποιημένη από A. Murray, «CEOs: The Revolution Is Coming», *Fortune* (2016): <https://bit.ly/3G1OaK0>.

υπολογιστή, επικύρωση (σε σύγκριση με τις *προοπτικές* κλινικές δοκιμές σε ανθρώπους). Πρόκειται για μια σημαντική διάκριση, γιατί η ανάλυση ενός υφιστάμενου συνόλου δεδομένων διαφέρει πολύ από τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό κλινικό περιβάλλον. Τα *in silico*, αναδρομικά αποτελέσματα συχνά αντιπροσωπεύουν το βέλτιστο αισιόδοξο σενάριο, που δεν αναπαράγεται πλήρως μέσω μιας προοπτικής αξιολόγησης. Τα δεδομένα των αναδρομικών μελετών είναι κατάλληλα για τη διατύπωση μιας υπόθεσης η οποία μπορεί στη συνέχεια να ελεγχθεί προοπτικά και να υποστηριχθεί, κυρίως όταν αναπαράγεται ανεξάρτητα.

Ακόμη είμαστε στο ξεκίνημα της εποχής της ΤΝ στην ιατρική. Η ΤΝ δεν είναι καθημερινή ιατρική πρακτική και ορισμένοι την αποκαλούν «Silicon Valley-dation».\* Τέτοιου είδους απαξιωτικές προσεγγίσεις είναι συχνές στην ιατρική και αποτελούν τροχοπέδη στις αλλαγές. Το αποτέλεσμα εδώ είναι πως, παρότι οι περισσότεροι τομείς στον κόσμο έχουν ήδη εισέλθει στην τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση που επικεντρώνεται στη χρήση της ΤΝ, η ιατρική εξακολουθεί να μένει προσκολλημένη στην πρώιμη φάση της τρίτης, κατά την οποία άρχισε η ευρεία χρήση υπολογιστών και ηλεκτρονικών μέσων (Εικόνα 1.4). Το ότι τα αρχεία MP3 είναι συμβατά με οποιαδήποτε εταιρεία συσκευής αναπαραγωγής μουσικής, για παράδειγμα, ενώ η ιατρική δεν έχει δει ακόμη ευρέως συμβατούς και φιλικούς προς τον χρήστη

\* Από το Silicon Valley + validation (=επικύρωση). (Σ.τ.Μ.)

ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας, δείχνει χαρακτηριστικά τη σκληρή προσπάθεια του τομέα για αλλαγή.

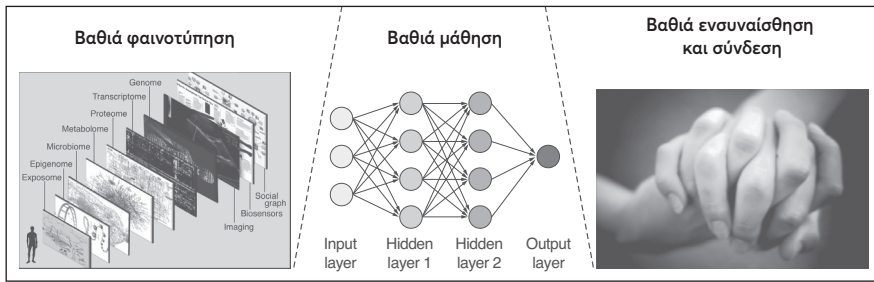
Δεν είναι η πρώτη φορά που επισημαίνω την απροθυμία της ιατρικής να υιοθετήσει νέες τεχνολογίες. Αυτό είναι το τρίτο βιβλίο που γράφω για το μέλλον της ιατρικής. Στο βιβλίο μου *Δημιουργική καταστροφή της Ιατρικής* (*Creative Destruction of Medicine*), ανέλυσα τον τρόπο με τον οποίο οι αισθητήρες, η αλληλούχηση, η απεικόνιση, η τηλεϊατρική και πολλές άλλες τεχνολογικές ευκαιρίες μάς επέτρεψαν να ψηφιοποιήσουμε τα ανθρώπινα όντα και να επιτύχουμε τον ψηφιακό μετασχηματισμό της ιατρικής. Στο βιβλίο μου *Ο ασθενής θα σας δει τώρα* (*The Patient Will See You Now*), εξήγησα πώς θα μπορούσε η ιατρική να εκδημοκρατιστεί – ότι ο ιατρικός πατερναλισμός θα εξασθενούσε όσο οι ασθενείς/καταναλωτές δεν θα παρήγαγαν απλώς τις πληροφορίες τους αλλά θα τις κατείχαν· θα είχαν πολύ μεγαλύτερη πρόσβαση στα ιατρικά δεδομένα τους και, τελικά, θα μπορούσαν (εάν το επέλεγαν) να αναλάβουν σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό την περιθαλή τους.

Το βιβλίο αυτό αντιπροσωπεύει την επόμενη φάση, την τρίτη μετά την ψηφιοποίηση και τον εκδημοκρατισμό, και είναι το πιο φιλόδοξο. Παρά την όποια εντύπωση ενδεχομένως σας προκαλεί το ενδιαφέρον μου για τη νέα τεχνολογία, ήταν πάντοτε όνειρό μου να ενεργοποιήσω το ουσιώδες ανθρώπινο στοιχείο της ιατρικής πράξης. Με αυτήν την τρίτη φάση, τη βαθιά μάθηση, θα έχουμε ένα πλαίσιο για να τροφοδοτήσουμε τις ρίζες της ιατρικής: τον δεσμό ανθρώπου με άνθρωπο. Μολονότι δεν έχουμε επιτύχει ακόμη την ψηφιοποίηση ή τον εκδημοκρατισμό της ιατρικής, αυτά εξελίσσονται αργά και πιστεύω ότι όχι μόνο θα τα ολοκληρώσουμε, αλλά και ότι θα φέρουμε την TN στην καρδιά της ιατρικής. Η κορύφωση της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι αυτό που ονομάζω «βαθιά ιατρική».

Για τη βαθιά ιατρική απαιτούνται τρεις βαθιές συνιστώσες (Εικόνα 1.5).

Η πρώτη είναι η ικανότητα να προσδιορίζουμε σε βάθος κάθε άτομο (ψηφιοποιώντας την ουσία μιας ανθρώπινης ύπαρξης από ιατρικής πλευράς), χρησιμοποιώντας όλα τα σχετικά δεδομένα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ολόκληρο το ιατρικό, κοινωνικό, συμπεριφορικό και οικογενειακό ιστορικό ενός ατόμου, καθώς και τα βιολογικά χαρακτηριστικά του: ανατομία, φυσιολογία και περιβάλλον. Η βιολογική μας υπόσταση έχει πολλαπλά επίπεδα: γονιδίωμα DNA, RNA, πρωτεΐνες, μεταβολίτες, ανοσία (immunome), μικροβίωμα, επιγονιδίωμα και άλλα. Στη βιοϊατρική ερευνητική κοινότητα, ο όρος που συχνά χρησιμοποιείται είναι «βαθιά φαινοτύπηση». Είδαμε ένα παράδειγμα της προσέγγισης στην περίπτωση του νεογέννητου αγοριού με





**ΕΙΚΟΝΑ 1.5** Οι τρεις κύριες συνιστώσες του μοντέλου βαθιάς ιατρικής.

Πηγή (αριστερό σχήμα): Τροποποιημένη από E. Topol, «Individualized Medicine from Prewomb to Tomb», *Cell* (2014): 157(1), 241-253.

τις επιληπτικές κρίσεις. Η βαθιά φαινοτύπηση εκτείνεται αφενός σε βάθος, σε όσο περισσότερους τύπους δεδομένων μπορείτε να φανταστείτε, και αφετέρου σε μήκος, καθώς καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της ζωής μας, επειδή πολλές ενδιαφέρουσες μετρήσεις είναι δυναμικές και αλλάζουν συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Πριν λίγα χρόνια έγραψα μια κριτική στην οποία ανέφερα ότι χρειαζόμαστε ιατρικά δεδομένα που να εκτείνονται «από πριν από τη σύλληψη έως τον θάνατο». <sup>3</sup> Ένας πρώην μέντορας μου είπε ότι θα έπρεπε να αποκαλέσω το διάστημα αυτό «από τη σεξουαλική επιθυμία έως την αποσύνθεση». Αλλά αντιλαμβάνεστε το βάθος και την έκταση των δεδομένων.

Η δεύτερη συνιστώσα είναι η βαθιά μάθηση, η οποία θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο μέλλον της ιατρικής. Αυτή δεν θα εμπλέκει μόνο την αναγνώριση προτύπων και τη μηχανική μάθηση που θα χρησιμοποιούν οι γιατροί στη διάγνωση, αλλά και ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως εικονικούς ιατρικούς εκπαιδευτές που θα καθοδηγούν τους ασθενείς/καταναλωτές έτσι ώστε να διαχειρίζονται καλύτερα την υγεία τους ή την ιατρική τους κατάσταση. Θα αναλάβει επίσης την αποδοτικότητα στο νοσοκομειακό περιβάλλον με τη χρήση της μηχανικής όρασης για βελτίωση της ασφάλειας των ασθενών και της ποιότητάς του. Τελικά, αυτό θα μειώσει την ανάγκη για νοσοκομειακούς θαλάμους, καθώς θα διευκολύνει την εξ αποστάσεως, κατ' οίκον παρακολούθηση. Αν και τα αποτελέσματα της βαθιάς μάθησης στην ιατρική έχουν τεράστιες δυνατότητες και έχουν επιταχυνθεί τα τελευταία χρόνια, είμαστε ακόμη στα σπάργανα. Πριν από 50 χρόνια περίπου, ο Ουίλλιαμ Σουάρτζ δημοσίευσε ένα άρθρο στο *New England Journal of Medicine* με τίτλο «Ιατρική και ηλεκτρονικοί υπολογιστές» («Medicine and

the Computer».<sup>4</sup> Διατύπωσε την υπόθεση ότι, στο μέλλον, ηλεκτρονικοί υπολογιστές και γιατροί θα συμμετείχαν «συχνά σε έναν διάλογο, με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή να καταγράφει διαρκώς το ιστορικό, τα κλινικά ευρήματα, τα εργαστηριακά δεδομένα κ.τ.λ., προειδοποιώντας τον γιατρό για τις πιο πιθανές διαγνώσεις και υποδεικνύοντας το κατάλληλο και ασφαλέστερο σχέδιο δράσης». Τι μπορούμε να δούμε απ' αυτήν την πρόβλεψη 50 χρόνια αργότερα; Παραδόξως, όχι και πολλά. Σίγουρα υπάρχουν διασκεδαστικές αφηγήσεις σχετικά με αναζητήσεις στο Google που υποστηρίζουν δύσκολες διαγνώσεις. Είναι βέβαιο όμως ότι η αναζήτηση βάσει ενός απλού συμπτώματος δεν έχει επικυρωθεί ως ακριβής τρόπος διάγνωσης. Αντιθέτως, πάρα πολύ συχνά, προκαλεί άγχος και κυβερνοχονδρία».

Μπορεί να φαντάζεται κανείς ότι η TN θα σώσει την ιατρική από όλα όσα την ταλαιπωρούν, όπως η διαγνωστική ανακρίβεια και οι ανεπάρκειες στη ροή εργασιών (φέρ' ειπείν ανιαρές εργασίες όπως οι χρεώσεις ή οι κωδικοποιήσεις), αλλά τίποτα από αυτά δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη. Είναι μια εξαιρετική ευκαιρία για τους επιχειρηματίες που συνεργάζονται με γιατρούς, επιστήμονες πληροφορικής και ερευνητές από άλλους κλάδους (όπως η επιστήμη της συμπεριφοράς και η βιοηθική) να βοηθήσουν να ενσωματωθεί επιτυχώς η TN στην υγειονομική περίθαλψη.

Η τρίτη και σημαντικότερη συνιστώσα είναι η βαθιά ενσυναίσθηση και η σύνδεση μεταξύ ασθενών και γιατρών. Εδώ και πάνω από 40 χρόνια, αφότου ξεκίνησα τις σπουδές μου στην ιατρική, παρακολουθώ τη σταθερή υποβάθμιση της ανθρώπινης πλευράς της ιατρικής, όπως εμφανίζεται στον Πίνακα 1.2. Σε αυτό το διάστημα, η υγειονομική περίθαλψη δεν έγινε απλώς μια μεγάλη επιχείρηση αλλά, από τα τέλη του 2017, η μεγαλύτερη. Σήμερα είναι ο μεγαλύτερος εργοδότης στις ΗΠΑ, ξεπερνώντας το λιανικό εμπόριο. Με όποιον τρόπο κι αν υπολογιστεί, η δαπάνη για την υγειονομική περίθαλψη έχει εκτιναχθεί. Εντούτοις, παρ' όλες τις θέσεις εργασίας στον τομέα αυτόν και παρ' όλα τα χρήματα που δαπανώνται ανά άτομο, ο χρόνος που αφιερώνεται μεταξύ γιατρών και ασθενών μειώνεται σταθερά, είτε πρόκειται για επίσκεψη σε ιατρείο είτε για επίσκεψη σε νοσοκομείο. Οι γιατροί είναι υπερβολικά απασχολημένοι. Το εξωφρενικό κόστος των σχεδόν 5.000 δολαρίων για μία ημέρα νοσηλείας μπορεί να περιλαμβάνει μια ολιγόλεπτη μόνο επίσκεψη του γιατρού σας (για την οποία υπάρχει επιπλέον επιβάρυνση). Αναλωμένοι στη φροντίδα των ασθενών, οι γιατροί παρέμειναν παθητικοί, ενώ συντελούσαν σημαντικές νέες αλλαγές στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης, όπως οι ηλεκτρονικοί φάκελοι υγείας, η διαχείριση της περίθαλψης, οι οργανισμοί για τη διατήρηση της υγείας και οι μονάδες σχετικής αξίας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2** Επιλεγμένες υγειονομικές παράμετροι στις ΗΠΑ που έχουν αλλάξει τα τελευταία 40 και πλέον χρόνια.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	1975	ΣΗΜΕΡΑ
Αριθμός θέσεων εργασίας στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης	4 εκατομμύρια	16 εκατομμύρια (#1 στην οικονομία των ΗΠΑ)
Δαπάνη για την υγειονομική περίθαλψη ανά άτομο	550 δολάρια/έτος	> 11.000 δολάρια/έτος
Χρόνος που αφιερώνεται στις ιατρικές επισκέψεις	60 λεπτά η πρώτη, 30 λεπτά οι επόμενες	12 λεπτά η πρώτη, 7 λεπτά οι επόμενες
% του ΑΕΠ στην υγειονομική περίθαλψη	<8	18
Χρέωση ημερήσιας νοσηλείας (μέσος όρος)	~ 100 δολάρια	4.600 δολάρια
Άλλα	Τίποτα	Μονάδες σχετικής αξίας, Ηλεκτρονικοί φάκελοι υγείας, Διαχείριση φαρμακευτικών παροχών, «συστήματα υγείας»

Σήμερα, περισσότεροι γιατροί και νοσηλευτές από ποτέ βιώνουν επαγγελματική εξουθένωση και κατάθλιψη, λόγω της αδυναμίας τους να παράσχουν πραγματική φροντίδα στους ασθενείς, που ήταν και ο λόγος για τον οποίο ακολούθησαν την ιατρική.

Αυτό που πάει λάθος στην υγειονομική περίθαλψη σήμερα είναι ότι λείπει η φροντίδα. Με άλλα λόγια, γενικά, ως γιατροί, δεν έχουμε την ευκαιρία να φροντίσουμε αρκετά τους ασθενείς. Και οι ασθενείς δεν αισθάνονται ότι τους φροντίζουν. Όπως έγραψε ο Φράνσις Πήμπαντ το 1927, «το μυστικό για τη φροντίδα τους ασθενούς είναι η φροντίδα του ασθενούς».<sup>5</sup> Η μεγαλύτερη ευκαιρία που προσφέρει η ΤΝ δεν είναι ο περιορισμός των σφαλμάτων ή του φόρτου εργασίας ή ακόμη και η θεραπεία του καρκίνου. Είναι η ευκαιρία να αποκατασταθεί η πολύτιμη και παραδοσιακή σχέση και εμπιστοσύνη –η ανθρώπινη επαφή– μεταξύ ασθενών και γιατρών. Σε μια τέτοια περίπτωση, όχι μόνο θα είχαμε χρόνο να έρθουμε πιο κοντά, κάτι που θα επέτρεπε πολύ βαθύτερη επικοινωνία και συμπόνια, αλλά θα μπορούσαμε επίσης να αναθεωρήσουμε τον τρόπο με τον οποίο επιλέγουμε και εκπαιδεύουμε τους γιατρούς. Βραβεύουμε «λαμπρούς» γιατρούς εδώ και δεκαετίες, όμως, η αυξανόμενη χρήση των μηχανών θα ενισχύσει τις

διαγνωστικές δεξιότητες και θα εμπλουτίσει το απόθεμα ιατρικής γνώσης, που θα είναι διαθέσιμο σε όλους τους γιατρούς. Τελικά, οι γιατροί θα αποδεχθούν την TN και τους αλγορίθμους ως συνεργάτες τους. Αυτή η αναβάθμιση του επιπέδου της ιατρικής γνώσης θα οδηγήσει, εντέλει, σε έναν νέο στόχο: στην επιλογή και στην εκπαίδευση γιατρών με υψηλότερο επίπεδο συναισθηματικής νοημοσύνης. Ο φίλος και συνάδελφός μου, Έμπραχαμ Βέργκιζ, τον οποίο θεωρώ έναν από τους σπουδαιότερους ανθρωπιστές της ιατρικής, τόνισε αυτά τα κρίσιμα σημεία στον πρόλογο του βιβλίου, τον οποίο ελπίζω να αφιερώσατε χρόνο για να διαβάσετε προσεκτικά. Αυτά ακριβώς προσφέρει η βαθιά ιατρική.



ΓΙΑ ΝΑ ΑΝΑΠΤΥΞΩ το εννοιολογικό πλαίσιο της βαθιάς ιατρικής, θα ξεκινήσω με το πώς ασκείται σήμερα η ιατρική και γιατί χρειαζόμαστε απεγνωσμένα νέες λύσεις σε προβλήματα όπως η εσφαλμένη διάγνωση, τα λάθη, οι κακές εκβάσεις και οι ανεξέλεγκτες δαπάνες. Αυτό εξαρτάται εν μέρει από τις βασικές αρχές που διέπουν μια ιατρική διάγνωση σήμερα. Για να κατανοήσουμε τα δυνητικά οφέλη και τους δυνητικούς κινδύνους της TN, θα διερευνήσουμε το παρελθόν της, τα επιτεύγματά της που ξεκινούν από τα παιχνίδια και φτάνουν έως τα αυτοκινούμενα οχήματα. Εξίσου και ίσως ακόμη πιο σημαντική θα είναι η διερεύνηση των ευαίσθητων πλευρών της TN, όπως η ανθρώπινη μεροληψία, η πιθανότητα επιδείνωσης των ανισοτήτων, η λειτουργία της κατά το πρότυπο του μαύρου κουτιού και οι ανησυχίες που εγείρει για παραβιάσεις της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας. Η μεταφορά δεκάδων εκατομμυρίων προσωπικών δεδομένων από το Facebook στην Cambridge Analytica, η οποία έπειτα χρησιμοποίησε TN για να στοχεύσει άτομα, δείχνει μια κρίσιμη πτυχή αυτού που θα μπορούσε να πάει λάθος στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης.

Στη συνέχεια θα μεταβούμε στη νέα ιατρική που θα ενσωματώσει τα εργαλεία της TN. Θα αξιολογήσουμε πώς η αναγνώριση προτύπων από τις μηχανές θα επηρεάσει την πρακτική των ακτινολόγων, των παθολογοανατόμων και των δερματολόγων, των γιατρών δηλαδή που λειτουργούν με πρότυπα εικόνων. Όμως η TN θα υπερβεί τα όρια όλων των κλάδων της ιατρικής, ακόμη και των «γιατρών χωρίς πρότυπα» και των χειρουργών. Ένα πεδίο που χρειάζεται επειγόντως μια νέα προσέγγιση είναι η ψυχική υγεία. Υπάρχει βαθύ χάσμα ανάμεσα στον τεράστιο φόρτο παθήσεων όπως η κατάθλιψη

και στον περιορισμένο αριθμό εκπαιδευμένων επαγγελματιών για τη διαχείριση ή την πρόληψή τους. Κατά πάσα πιθανότητα θα αποδειχθεί ότι η ΤΝ θα διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην ψυχική υγεία στο μέλλον.

Όμως η ΤΝ, και ειδικά η βαθιά μάθηση, δεν θα επηρεάσει απλώς την ιατρική πράξη. Κατά τρόπο συμπληρωματικό, θα μεταμορφώσει επίσης τη βιοϊατρική επιστήμη. Θα διευκολύνει, για παράδειγμα, την ανακάλυψη νέων φαρμάκων. Θα εξαγάγει, επιπλέον, γνώση από σύνθετα σύνολα δεδομένων, όπως εκατομμύρια αλληλουχίες ολόκληρου του γονιδιώματος, πολύπλοκες λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου ή ολοκληρωμένη ροή αναλύσεων σε πραγματικό χρόνο από πολλές πληροφορίες από βιοαισθητήρες. Τα εγχειρήματα αυτά προηγούνται της περίθαλψης των ασθενών, αλλά οι καταλυτικές εξελίξεις στις βασικές επιστήμες και στην ανάπτυξη φαρμάκων θα ασκήσουν εντέλει μεγάλη επίδραση στην ιατρική.

Η ΤΝ μπορεί να φέρει επίσης επανάσταση σε άλλες πτυχές της ζωής μας, οι οποίες, με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, προηγούνται της κλινικής ιατρικής. Μία τεράστια αλλαγή θα αφορά τον τρόπο με τον οποίο τρώμε. Μέχρι σήμερα, ένα από τα μη αναμενόμενα πρακτικά επιτεύγματα της μηχανικής μάθησης ήταν η διαμόρφωση μιας πιθανής επιστημονικής βάσης για εξατομικευμένη διατροφή. Το να γνωρίζουμε ποιες συγκεκριμένες τροφές είναι οι βέλτιστες για οποιοδήποτε άτομο αποτελεί ίσως μια συναρπαστική εξέλιξη. Μπορούμε πλέον να προβλέψουμε ποιες συγκεκριμένες τροφές θα αυξήσουν αιφνίδια το σάκχαρο του αίματος σε υγιή άτομα, χωρίς διαβήτη. Τέτοιου είδους εξελίξεις ξεπερνούν κατά πολύ τα όποια οφέλη μπορεί να προκύψουν ακολουθώντας μια διατροφή για όλους τους ανθρώπους, όπως είναι οι κλασικές διατροφικές πυραμίδες ή οι δίαιτες της μόδας Atkins ή South Beach, από τις οποίες καμία δεν βασίστηκε ποτέ σε τεκμηριωμένα στοιχεία. Θα εξετάσουμε όλα αυτά τα συναρπαστικά δεδομένα και θα προβλέψουμε ποια μπορεί να είναι η εξέλιξη της έξυπνης διατροφής στο μέλλον. Πολλές από αυτές τις κατ' οίκον εξελίξεις θα είναι συγκεντρωμένες στον εικονικό ιατρικό εκπαιδευτή. Πολύ πιθανόν να χρησιμοποιούν φωνητικό βοηθό, όπως οι Siri, Alexa ή Google Home, αλλά είναι απίθανο να παραμείνουν ένας κύλινδρος ή μια κυματιστή γραμμή στην οθόνη. Υποψιάζομαι ότι είναι πιο πιθανό να έχουν τη μορφή ενός εικονικού ανθρώπινου άβαταρ ή ολογράμματος (αλλά μόνο γραπτού μηνύματος ή e-mail εάν κάποιος το προτιμά). Ο εικονικός ιατρικός εκπαιδευτής είναι η βαθιά μάθηση όλων των δεδομένων ενός ατόμου, τα οποία συλλέγονται απρόσκοπτα, ανανεώνονται διαρκώς, ενσωματώνονται σε όλη τη βιοϊατρική γνώση, ανατροφοδοτούνται και παρέχουν καθοδήγηση. Αυτά τα συστήματα θα εξειδικεύονται αρχικά σε μία νόσο, όπως ο διαβήτης

ή η υπέρταση, αλλά πιθανόν να προσφέρουν στο μέλλον μια ευρεία υγειονομική πλατφόρμα για τον ασθενή/καταναλωτή, που θα βοηθά στην πρόληψη ή στην καλύτερη αντιμετώπιση διαφόρων παθήσεων.

Όλο αυτό το δυναμικό, ωστόσο, θα μπορούσε να πάει χαμένο από κακή χρήση των δεδομένων σας. Αυτό δεν περιλαμβάνει μόνο τα εγκλήματα που έχουμε δει κατά κόρον μέχρι σήμερα, όπως η κυβερνοκλοπή, ο εκβιασμός (νοσοκομεία των οποίων τα δεδομένα κρατήθηκαν για λύτρα) και η παρείσφρηση με κακόβουλο λογισμικό (χάκινγκ), αλλά και τη δόλια και σε ευρεία κλίμακα πώληση και χρήση των δεδομένων σας. Η νέα, ανησυχητική, απaráδεκτη και απροσδόκητη εξέλιξη θα μπορούσε να είναι ότι οι ασφαλιστικές εταιρείες, ή οι εργοδότες, θα έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα σας –και σε ό,τι γνωρίζει η βαθιά μάθηση για εσάς– προκειμένου να λαμβάνουν ζωτικές αποφάσεις σχετικά με την κάλυψη της υγείας σας, τα ασφάλιστρα ή τη θέση εργασίας σας. Για να αποφευχθούν τέτοια τρομακτικά σενάρια, θα χρειαστεί να καταβληθεί συνειδητή και έντονη προσπάθεια.

Το βιβλίο αυτό έχει να κάνει με την εύρεση της σωστής ισορροπίας μεταξύ ασθενών, γιατρών και μηχανών. Εάν μπορέσουμε να το κάνουμε αυτό, εάν μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε τα μοναδικά δυνατά σημεία των μηχανών για να καλλιεργήσουμε βελτιωμένους δεσμούς μεταξύ των ανθρώπων, θα έχουμε βρει μια ζωτική θεραπεία για ό,τι πλήττει βαθιά την ιατρική του σήμερα.

Ελπίζω να σας πείσω ότι η βαθιά ιατρική είναι ταυτόχρονα εφαρμόσιμη και εξαιρετικά επιθυμητή. Ο συνδυασμός της δύναμης ανθρώπων και μηχανών – τόσο της ανθρώπινης όσο και της τεχνητής νοημοσύνης– μπορεί να οδηγήσει την ιατρική σε ένα πρωτόγνωρο επίπεδο. Υπάρχουν πολλά εμπόδια, όπως θα δούμε. Ο δρόμος δεν θα είναι εύκολος και το τέλος του είναι πολύ μακριά. Αλλά με τις κατάλληλες δικλίδες ασφαλείας, η ιατρική μπορεί να φτάσει ως εκεί. Η αυξημένη απόδοση και ροή εργασιών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είτε για να πιεστούν περισσότερο οι κλινικοί γιατροί, είτε για να δοθεί ως δώρο στους ασθενείς ο κερδισμένος χρόνος: να χρησιμοποιηθεί το μέλλον για να επανέλθει το παρελθόν. Ο τελευταίος αυτός στόχος απαιτεί ακτιβισμό, ιδιαιτέρως μεταξύ των γιατρών, για να υποστηρίξουν το συμφέρον των ασθενών. Όπως οι έφηβοι μαθητές του Parkland\* διαδήλωσαν ενάντια

---

\* Αναφέρεται στην επίθεση ένοπλου άνδρα σε λύκειο του Parkland της Φλόριντα των ΗΠΑ, τον Φεβρουάριο του 2018, με αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους 17 άτομα. Το γεγονός πυροδότησε μαζικές μαθητικές πορείες με σύνθημα «Never again» (ποτέ ξανά). (Σ.τ.Μ.)

στη βία των όπλων, έτσι και οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να πολεμήσουν ενάντια σε κάποια ισχυρά κατοχυρωμένα συμφέροντα, να μη χάσουν αυτήν την ευκαιρία να υπερασπιστούν την προτεραιότητα της περίθαλψης των ασθενών, όπως πολύ συχνά στο παρελθόν. Η άνοδος των μηχανών πρέπει να συνοδευτεί από αυξημένη ανθρωπιά, με περισσότερο χρόνο μαζί, συμπόνια και στοργή, ώστε η υγειονομική περίθαλψη να «περιθάλπει» πραγματικά. Να αποκατασταθεί και να προαχθεί η περίθαλψη. Τελεία και παύλα.

Ας ξεκινήσουμε.