



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος εργασίας

Τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη

Συγγραφέας

Ευθυμίου Κωνσταντίνος

AM: 18389206

Επιβλέποντες:

Μιχαήλ Παπουτσιδάκης

Ελένη Συμεωνάκη

Αθήνα, Μάρτιος 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION ENGINEERING**

Diploma Thesis

Digital twins in healthcare

Student: Efthymiou Konstantinos

Registration Number: 18389206

**Supervisors:
Michail Papoutsidakis
Eleni Symeonaki**

Athens, March 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τίτλος εργασίας: Τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΡΟΣΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄	
3	ΕΛΕΝΗ ΣΥΜΕΩΝΑΚΗ	ΕΔΙΠ Α΄	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ευθυμίου Κωνσταντίνος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 18389206, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΕΥΘΥΜΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής» του Τμήματος Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στις σπουδές μου ήταν καθοριστική η συμβολή των καθηγητών μου στα γνωστικά αντικείμενα που παρακολούθησα, στους οποίους οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου. Ιδιαίτερα επιθυμώ να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας καθηγητή κ. Μιχαήλ Παπουτσιδάκη και την κ. Ελένη Συμεωνάκη Ε.ΔΙ.Π. Α΄ Βαθμίδας, για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφεραν σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας με τις εύστοχες και πολύ εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους. Τέλος, οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση και την υποστήριξη που μου παρείχε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία επιστημονική και τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων χρόνων έχει μεταμορφώσει τον σύγχρονο κόσμο σε όλους τους τομείς. Στα πλαίσια αυτής της ανάπτυξης, μία νέα τεχνολογία, αυτή των «Ψηφιακών Διδύμων», των «Digital Twin», αποτελεί μια καινοτομία που αλλάζει τα δεδομένα της ανθρώπινης ζωής κυρίως λόγω της ευρείας χρήσης της σε ένα μεγάλο φάσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των δυνατοτήτων και υπηρεσιών που προσφέρει.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η παρουσίαση του θέματος των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη, στην κλινική διάγνωση και θεραπεία διαφόρων ασθενειών και την παροχή εξατομικευμένης φροντίδας των ασθενών. Στην εισαγωγή παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση της έννοιας των ψηφιακών διδύμων και των εφαρμογών τους σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας των ανθρώπων, ενώ γίνεται αναφορά στο ιστορικό υπόβαθρο της έννοιας και στο μέλλον των ψηφιακών διδύμων. Στο κύριο σώμα της εργασίας παρουσιάζονται τα ψηφιακά δίδυμα στο ανθρώπινο σώμα και η αντιστοιχία ανάμεσα στα συστήματα του ανθρώπινου σώματος και στα φυσικά συστήματα στον κυβερνοχώρο με έμφαση στα τρία συστατικά τους: φυσικό υπόστρωμα, υπόστρωμα δικτύου και υπόστρωμα εφαρμογής και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας τους. Εν συνεχεία, διερευνάται ο ρόλος των ψηφιακών διδύμων στην κλινική έρευνα και τη φροντίδα των ασθενών, η αξιοποίησή τους στην προώθηση της ιατρικής έρευνας με σκοπό τη δημιουργία πιο ακριβών διαγνώσεων και θεραπειών, τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους για τους ιατρικούς ερευνητές και ιατρούς, ενώ παρουσιάζονται συγκεκριμένα παραδείγματα ασθενειών, στη διάγνωση και θεραπεία των οποίων είναι δυνατόν να συμβάλει η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων. Κύριος στόχος της εργασίας είναι να αναδειχθεί ο ρόλος του ψηφιακού διδύμου στον τομέα της ιατρικής περίθαλψης, όπου με τη χρήση του είναι ευκολότερη και ταχύτερη η πρόβλεψη, η καθοδήγηση, η λήψη άμεσων αποφάσεων για την αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων στην υγεία του ανθρώπου και η άμεση επέμβαση είτε ως πρόληψη είτε ως θεραπεία.

Λέξεις Κλειδιά: ψηφιακά δίδυμα, υγειονομική περίθαλψη, δημόσια υγεία, ιατρική έρευνα, πρόληψη και θεραπεία ασθενειών.

ABSTRACT

The rapid scientific and technological development of recent years has transformed the modern world in all sectors. In the context of this development, a new technology, called digital twins, constitutes an innovation that changes the data of human life mainly due to its broad use in a wide range of human activities and possibilities and the services it offers.

In the present paper work, an attempt is made to display the topic of digital twins in health care, in the clinical diagnosis and treatment of various diseases and the provision of personalized patient care. The introduction presents the bibliographic review of the meaning of digital twins and their applications in various sections of people's daily lives, while reference is made to the historical background of the concept and the future of digital twins. In the main body of the paper work, the digital twins in the human body and the correspondence between the systems of the human body and the physical systems in cyberspace are presented with an emphasis on their three components: physical substrate, network substrate, and application substrate, and their mode of operation is described. Afterwards, the role of digital twins in clinical research and patient care is investigated, their use in promoting medical research in order to create more accurate diagnoses and treatments, the advantages of their use for medical researchers and doctors, while presenting specific examples of patients, in whose diagnosis and treatment the technology of digital twins can contribute. The main purpose of the paper work is to highlight the role of the digital twin in the field of medical care, where with its use it is easier and faster to predict, guide, make instant decisions to deal with critical situations in human health and direct intervention either as prevention or treatment.

Keywords: digital twins, health care, public health, medical research, prevention and treatment of diseases.

Περιεχόμενα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	14
1.1. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ	14
1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	17
1.3. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	21
2.1. 21	
2.2. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΒΕΡΝΟΧΩΡΟ (CPS) ΜΕ ΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	22
2.3. ΤΟΜΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΥΒΕΡΝΟΧΩΡΟΥ (CPS) ΜΕ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ	25
2.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ CPS	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	29
3.1. ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΔΥΜΟ	29
3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΔΙΔΥΜΟΥ.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	32
4.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΚΑΙ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΙΑΤΡΙΚΗ	32
4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ.....	34
4.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ	35
4.4. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	38
5.1. ΕΞΥΠΝΗ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ - ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ, ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗ ΙΑΤΡΙΚΗ.....	38
5.2. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ (Smart Healthcare)	38
5.3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ.....	39
5.4. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ SMART HEALTHCARE	40
5.5. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ.....	41
5.6. ΚΙΝΗΤΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ	44
5.7. ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ.....	45
5.8. ΤΗΛΕΪΑΤΡΙΚΗ	47

5.9. ΠΡΟΛΗΨΗ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	50
6.1. ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ	50
6.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΙΑΤΡΙΚΗ	50
6.3. ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΣΘΕΝΕΙΣ ΜΕ ΧΡΟΝΙΕΣ ΠΑΘΗΣΕΙΣ	52
6.4. ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ	53
6.5. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ	55
6.6. ΕΞΥΠΝΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΥΓΕΙΑΣ.....	60
6.6.1. ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ.....	62
6.6.2. ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ	63
6.6.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο	66
7.1. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ	66
7.2. ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ	67
7.3. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΚΑΙ ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΣΤΟΥ.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο	72
8.1. ΤΕΧΝΗΤΟ ΠΑΓΚΡΕΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο	76
9.1. ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΑ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο	81
10.1. ΚΥΤΤΑΡΟΜΕΤΡΙΑ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο	87
11.1. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΑΡΜΑΚΩΝ	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο	90
12.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΡΜΑΚΩΝ ΓΙΑ SARS-COV-2	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο	92
13.1. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΚΑΙ DNA	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14^ο	94
14.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΚΑΙ COVID 19	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15^ο	99
15.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ	99
15.2. DENTEACH: ΕΝΑ ΒΙΩΣΙΜΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ Ο- ΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ.....	100
15.3. DENTEACH	103
15.4. DENTEACH: DIGITAL TWIN TECHNOLOGY	107
15.5. ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ DENTEACH	108

15.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ DENTEACH	109
15.7. ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16^ο.....	113
16.1. ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ	113
16.2. ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ: ΑΠΟ ΤΗΝ ΨΗ- ΦΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΤΟΝ ΨΗΦΙΑΚΟ ΑΣΘΕΝΗ	116
16.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17^ο.....	121
17.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΟΣ ΣΤΗ ΡΙΝΟΛΟΓΙΑ	121
17.2. ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18^ο.....	124
18.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗ ΡΙΝΟΛΟΓΙΑ	124
18.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ – ΕΣΤΙΑΖΟΝΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ	126
18.3. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΑΡΧΑΡΙΟΥΣ.....	127
18.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	129
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το ερευνητικό ερώτημα που τίθεται στην παρούσα εργασία είναι: τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται στην υγειονομική περίθαλψη; Σε ποιους τομείς; Ποια τα οφέλη τους; Ποια τα αρνητικά στοιχεία και ποιες οι δυνατότητες βελτίωσης τους;

Μέθοδοι: Η επισκόπηση δομήθηκε σύμφωνα με τα Προτιμώμενα Στοιχεία Αναφοράς για Επέκταση Συστηματικών Ανασκοπήσεων και Μετα-Αναλύσεων για Πλαίσιο Ανασκοπήσεων Πεδίου (PRISMA-ScR). Τίτλοι και περιλήψεις αναφορών στο PubMed, IEEE Xplore, Scopus, ScienceDirect και Google

Έγινε αναζήτηση για τους μελετητές χρησιμοποιώντας επιλεγμένες λέξεις-κλειδιά (σχετικά με ψηφιακά δίδυμα, υγειονομική περίθαλψη). Οι εργασίες εξετάστηκαν σύμφωνα με τα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού, έτσι ώστε να περιλαμβάνονται όλες οι εργασίες που δημοσιεύθηκαν στα αγγλικά σχετικά με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη. Χρησιμοποιήθηκε μια αφηγηματική σύνθεση για την ανάλυση των εγγράφων που περιλαμβάνονται.

Με βάση τα πλαίσια που προσδιορίστηκαν κατά την ανασκόπηση, το παρόν έγγραφο παρουσιάζει ένα προκαταρκτικό εννοιολογικό πλαίσιο για τη χρήση του ψηφιακού διδύμου για τη διαχείριση διαφόρων ασθενειών για την αντιμετώπιση αυτού του ερευνητικού κενού.

Στρατηγική αναζήτησης: Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση σε 4 ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων: PubMed, IEEE Xplore, Scopus και ScienceDirect. Αυτές οι 4 βάσεις δεδομένων επιλέχθηκαν για να καλύψουν τους ερευνητικούς τομείς της μηχανικής και της υγειονομικής περίθαλψης: τα IEEE Xplore και ScienceDirect καλύπτουν τον τομέα της μηχανικής, ενώ τα PubMed εστιάζει στην υγειονομική περίθαλψη και το Scopus περιλαμβάνει ένα τεράστιο αριθμό αναφορών από μια ποικιλία τομέων και χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει οτιδήποτε παραλείπεται από τις πιο ειδικές βάσεις δεδομένων. Προς τον εντοπισμό τυχόν σχετικών εργασιών που δεν περιλαμβάνονται σε αυτές τις βάσεις δεδομένων πραγματοποιήθηκε επίσης αναζήτηση στο Google Scholar.

Λέξεις-κλειδιά: Digital Twins, υγειονομική περίθαλψη, δημόσια υγεία, εστίες ασθενειών

Αποτελέσματα: εντοπίστηκαν κυρίως ξενόγλωσσες εργασίες που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης και συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση. Η ακαδημαϊκή έρευνα σχετικά με τις εφαρμογές, τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη γενικά βρέθηκε ότι βρίσκεται σε πρώιμα στάδια.

Συμπεράσματα: Η ανασκόπηση εντοπίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins) είναι η εικονική αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας και προϋποθέτουν το φυσικό αντικείμενο, το ψηφιακό αντίγραφο και τη μεταξύ τους σύνδεση. Στην ουσία τα ψηφιακά δίδυμα αντιγράφουν ένα αντικείμενο ή ένα ανθρώπινο όργανο και λειτουργούν παράλληλα και με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και το πρωτότυπο. Με άλλα λόγια, είναι ένας συνδυασμός δεδομένων, αλγορίθμων και τεχνητής νοημοσύνης και λειτουργούν σε έναν εικονικό κόσμο. Εξετάζοντας τη βιβλιογραφία, συναντάμε πλήθος ορισμών των ψηφιακών διδύμων που παρουσιάζουν ομοιότητες αλλά και διαφορές μεταξύ τους. Για παράδειγμα, αλλού το ψηφιακό δίδυμο αναφέρεται ως ακριβές αντίγραφο ενός προϊόντος, όπως κατασκευάστηκε, που αναπαράγει τη μηχανική φθορά κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος (Hochhalter, J., et al, 2014) και αλλού ως ψηφιακό μοντέλο, βασισμένο σε αισθητήρες, που παράγει προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο (Grieves, M., 2015). Συγκρίνοντας τους προτεινόμενους ορισμούς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι σχεδόν όλοι επικεντρώνονται σε τρία στοιχεία: το φυσικό χώρο, τον εικονικό χώρο και τα συνδεδεμένα δεδομένα. (Μπασάς, Β., 2022).

Οι χρήσεις των ψηφιακών διδύμων είναι ποικίλες και αφορούν πολλούς κλάδους: τις κατασκευές, τη γεωργία, τη διατήρηση των φυσικών πόρων, την άμυνα, την άμεση δράση, την ενέργεια, την εκπαίδευση, την αρχιτεκτονική, τις μεταφορές, τις φυσικές καταστροφές, τα συστήματα επικοινωνίας και την υγειονομική περίθαλψη. Σύμφωνα με τον Έλληνα καθηγητή Δημήτρη Κυρίτση, επικεφαλής του ICT for Sustainable Manufacturing Group στην Ομοσπονδιακή Σχολή της Λοζάνης (EPFL): *«Τα ψηφιακά δίδυμα δημιουργούνται με λογισμικό μοντελοποίησης και μας επιτρέπουν να μελετήσουμε και να μετρήσουμε φυσικούς μηχανισμούς και να δοκιμάσουμε τα αποτελέσματα διαφορετικών αποφάσεων σε έναν εικονικό κόσμο.»* (Μιχοπούλου, Β., 2021)

Απαραίτητα στοιχεία της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων είναι ο συγχρονισμός τους με το φυσικό αντικείμενο, η συχνότητα ή η ταχύτητα με την οποία τα δεδομένα ενημερώνονται και η πιστότητα, δηλαδή ο βαθμός ακρίβειας του εικονικού αντικειμένου και του μηχανισμού συγχρονισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ

Οι χώροι στους οποίους εφαρμόζονται τα ψηφιακά δίδυμα είναι:

- η βιομηχανία, όπου κατασκευάζονται ψηφιακά δίδυμα μερών, προϊόντων και συστημάτων, ενώ έχει αρχίσει η μοντελοποίηση διαδικασιών παραγωγής. (Shengli, W., 2021).
- η ενέργεια, όπου με τη βοήθεια των ψηφιακών διδύμων γίνεται από τις εταιρείες ηλεκτρισμού η παρακολούθηση και η συντήρηση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτρικών δικτύων, η μεταφορά και η κατανάλωση, ενώ βελτιώνεται η αποδοτικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή και αιολική). (Shengli, W., 2021).
- η πολεοδομία και οι κατασκευές. Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό μεγάλων κτιρίων και υπεράκτιων εξέδρων πετρελαίου, ενώ διαδραματίζουν ρόλο σε πρωτοβουλίες έξυπνων πόλεων, οι οποίες στοχεύουν στη σύνδεση ψηφιακών υποδομών, συχνά μέσω IoT, (Internet of Things: Διαδίκτυο των Πραγμάτων) και στην εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης δεδομένων με σκοπό τη βελτίωση των μεταφορών και την εξοικονόμηση ενέργειας. (Shengli, W., 2021).
- η αυτοκινητοβιομηχανία. Τα ψηφιακά δίδυμα παίζουν ρόλο στο σχεδιασμό του οχήματος, αλλά και σε μεταγενέστερα στάδια του κύκλου ζωής του οχήματος, όπως το σέρβις. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες χρησιμοποιούν επίσης ψηφιακά δίδυμα για να κάνουν τα εργοστάσια συναρμολόγησης πιο αποτελεσματικά και να προβλέπουν πιθανά ελαττώματα στην κατασκευή των οχημάτων. (Shengli, W., 2021).
- Το λιανικό εμπόριο και ηλεκτρονικό εμπόριο. Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν την τοποθέτηση προϊόντων, την περιήγηση του πελάτη σε ένα

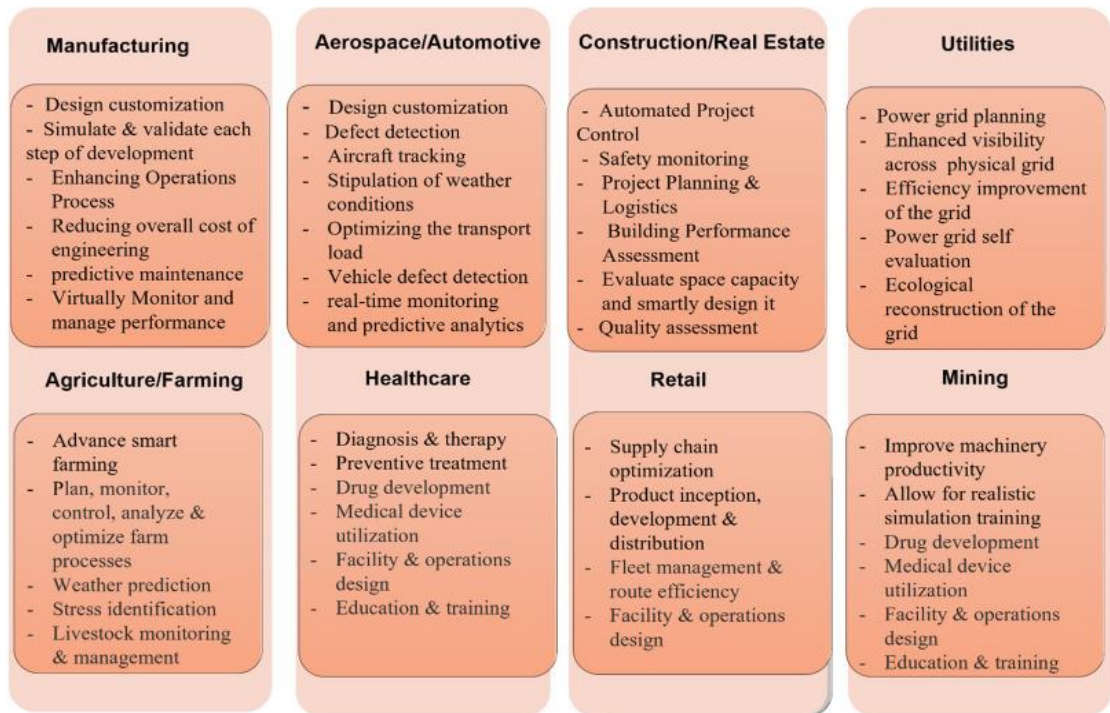
κατάστημα και τον αντίκτυπο της νέας διαρρύθμισης των καταστημάτων. Ορισμένες εταιρείες άρχισαν να χρησιμοποιούν την τεχνολογία για τη δημιουργία διαδικτυακών δίδυμων καταστημάτων για να τονώσουν το ενδιαφέρον για τους ιστότοπους ηλεκτρονικού εμπορίου τους. Τα ψηφιακά δίδυμα βοηθούν επίσης στη βελτίωση του ρεαλισμού των τρισδιάστατων εικόνων των προϊόντων. (Shengli, W., 2021).

- Η γεωργία: οι CPS τεχνολογίες μπορούν να δημιουργήσουν ένα σύστημα παρακολούθησης της ανάπτυξης των φυτών, να παρέχουν συμβουλές στους αγρότες, να διασφαλίζουν τη συγκομιδή με το μεγαλύτερο κόστος στον καταλληλότερο χρόνο και να προβλέπουν τις κλιματικές αλλαγές. Επίσης, μπορούν να δημιουργούν συστήματα ανθεκτικά στις αλλαγές της θερμοκρασίας, της πίεσης, των συστατικών του εδάφους και του Ph, να παρακολουθούν τις αλλαγές και να παρέχουν ανατροφοδότηση. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).
- Η διατήρηση φυσικών πόρων: οι CPS τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των υδάτινων πόρων με την παρακολούθηση και τον έλεγχο της διανομής του νερού με τη χρήση αισθητήρων και έξυπνων μετρητών, καθώς και της ποιότητας και της επαναχρησιμοποίησής του. Επίσης, είναι δυνατό να συμβάλουν στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών που απενεργοποιούνται όταν δε χρησιμοποιούνται. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).
- Η ακίνητη περιουσία: οι έξυπνες πόλεις λαμβάνουν υπόψη την εξοικονόμηση ενέργειας, τη χρήση της πράσινης ενέργειας και τα ενεργειακά κτίρια, που κατά το σχεδιασμό τους αξιοποιούνται οι ανανεώσιμοι πόροι και επιτυγχάνεται η μέγιστη αξιοποίηση του χώρου. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).
- Η άμυνα: τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας των στρατιωτών με φορητές συσκευές παρακολούθησης, χρήση αισθητήρων στα στρατιωτικά οχήματα και σύνδεσή τους με τη βάση για την αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).

- Η εκπαίδευση: η αναζήτηση των πληροφοριών και η αποθήκευσή τους γίνεται ψηφιακά. Οι έξυπνες τάξεις, οι έξυπνοι πίνακες και οι έξυπνοι δάσκαλοι βοηθούν τους μαθητές να μαθαίνουν ενεργητικά και δημιουργικά. [2]
- Οι φυσικές καταστροφές: είναι δυνατή η πρόβλεψη των φυσικών καταστροφών με την παρακολούθηση και τη χρήση των δεδομένων από αισθητήρες που μπορούν να μετακινούνται και να προσδιορίζουν τον αντίκτυπο των καταστροφών. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).
- η φροντίδα υγείας, όπου τα ψηφιακά δίδυμα που βασίζονται σε ηλεκτρονικά αρχεία υγείας, ιατρικές εικόνες, αλληλουχία γονιδιώματος και άλλες ιατρικές πληροφορίες διευκολύνουν τη διάγνωση ασθενειών και προτείνουν θεραπείες συγκρίνοντας το ψηφιακό δίδυμο ενός ασθενούς με αυτό άλλων ασθενών με παρόμοια προφίλ. Οι ιατρικές δοκιμές μπορούν να γίνουν πιο αποτελεσματικές αποφεύγοντας να θέσουν σε κίνδυνο πραγματικούς ασθενείς. Οι ερευνητές εκτελούν ήδη προσομοιώσεις σε ανώνυμα ψηφιακά δίδυμα για να εντοπίσουν τις καλύτερες επιλογές θεραπείας. (Shengli, W., 2021).



Σχήμα 1: τομείς εφαρμογής ψηφιακών διδύμων



Σχήμα 2: Εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η έννοια των «Διδύμων» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1970 κατά τη διάρκεια του προγράμματος Apollo 13 της NASA (Rosen et al., 2015). Μετά την καταστροφή της αποστολής του Apollo, η NASA χρησιμοποίησε προσομοιωτές και δεδομένα τηλεμετρίας για τη διάγνωση και την επίλυση προβλημάτων. Το εγχείρημα θεωρήθηκε ένα μεγάλο επίτευγμα στον τομέα της μηχανικής και έτσι γεννήθηκε η βασική ιδέα του Ψηφιακού διδύμου (ΨΔ) (Ferguson, 2020). Ωστόσο, η αρχική ιδέα του ΨΔ παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2002 από τον καθηγητή Δρ. Michael Grieves στο μάθημα «Διαχείριση Κύκλου Ζωής Προϊόντος» ('Product Lifecycle Management' – PLM) του Πανεπιστημίου του Michigan. (Grieves, 2011). Το 2020 ο συνεργάτης του John Vickers και διευθυντής των προηγμένων κατασκευών της NASA άρχισε να χρησιμοποιεί τον όρο: "digital twin". (Μιχοπούλου, Β., 2021)

1.3. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ

Βραχυπρόθεσμα, οι προγραμματιστές είναι πιθανό να επεκτείνουν τη χρήση των ψηφιακών διδύμων σε ένα ευρύτερο φάσμα οντοτήτων, από τα μέρη του σώματος έως τους ανθρώπους, από τις έξυπνες πόλεις έως τις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού. Δεδομένης της μείωσης των τιμών της ψηφιακής τεχνολογίας, οι εταιρείες θα είναι σε θέση να αποκτούν τον ανάλογο για την αποστολή εξοπλισμό τους. Η συνεχής ανάπτυξη των ψηφιακών διδύμων, της υποδομής IoT και των σχετικών εννοιών, θα συμβάλει στη διάδοση των ψηφιακών διδύμων και θα διευκολύνει την ανάπτυξή τους. Οι περισσότεροι ερευνητές αγοράς αναμένουν ότι η ανάπτυξη θα είναι ραγδαία. Επίσης, οι ερευνητές θεωρούν ότι τα ψηφιακά δίδυμα που θα έχουν δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης θα είναι σε θέση να λειτουργούν ως έξυπνοι σύντροφοι με τους ομολόγους τους στον πραγματικό κόσμο.

Οι αισιόδοξοι φαντάζονται ότι σύντομα τα έξυπνα ψηφιακά δίδυμα θα είναι παρόντα σε κάθε επίπεδο, από τα οικιακά αντικείμενα μέχρι το παγκόσμιο περιβάλλον. Βέβαια, είναι ανοιχτό το θέμα για το αν αυτό το επίπεδο ψηφιακού μετασχηματισμού είναι ρεαλιστικό και επιθυμητό, αλλά είναι αδιαμφισβήτητο ότι τα ψηφιακά δίδυμα έχουν εξασφαλίσει μια θέση στο μέλλον. (Μιχοπούλου, Β., 2021)

Η ευρεία χρήση των ψηφιακών διδύμων στο μέλλον είναι ορατή. Με τις βελτιώσεις στην τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και τη σημαντική εξοικονόμηση κόστους από τη χρήση της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι όλο και περισσότερες εταιρείες ενσωματώνουν ψηφιακά δίδυμα στην καθημερινή τους λειτουργία. Με εταιρείες όπως η Meta να έχουν επενδύσει σε μεγάλο βαθμό στην AR και στο Metaverse, τα ψηφιακά δίδυμα θα μπορούσαν να είναι το επόμενο βήμα για την πρόοδο των εικονικών οικονομιών. Για παράδειγμα, στο μέλλον οι άνθρωποι θα

μπορούσαν να χρησιμοποιούν φορητές τεχνολογίες, όπως έξυπνα γυαλιά για να αλληλεπιδρούν με το πραγματικό περιβάλλον τους για να λαμβάνουν σχετικές πληροφορίες με δυνατότητα προβολής μόνο μέσα από τα γυαλιά τους.

Οι Allam και Jones (Allam, Z.; Jones, 2021) προέβλεψαν κάποιες φιλόδοξες χρήσεις των ψηφιακών διδύμων στο μέλλον: Άνθρωποι να μπορούν να βιώσουν και να εξερευνήσουν εικονικά περιβάλλοντα μέσω ψηφιακών διδύμων, όπως τους φυσικούς και βιολογικούς κόσμους. Άτομα όλων των επαγγελμάτων μπορεί να χρησιμοποιήσουν ψηφιακά δίδυμα για να δημιουργήσουν εικονικά δίδυμα σχετικά με τα θέματα και τα αντικείμενα της εργασίας τους, ώστε να παρατηρούν, να παρακολουθούν και να αλλάζουν τα φυσικά αντικείμενα από απόσταση σε πραγματικό χρόνο. Οι άνθρωποι μπορεί να διοικούν εξ αποστάσεως μέσω ψηφιακών διδύμων μεγάλες επιχειρήσεις χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία τους. (Allam, Z.; Jones, 2021), (Nativi, S., et al, 2021)

Οι Saddik et al. (Saddik, A. et al, 2021) διερεύνησαν το μέλλον των ψηφιακών διδύμων και απαρίθμησαν μερικές πιθανές χρήσεις: προληπτική ιατρική, κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και ραντεβού, ανατροφή παιδιών και αθλητισμός.

Για την προληπτική ιατρική, πρότειναν στους ασθενείς να χρησιμοποιούν ψηφιακά δίδυμα για να παρατηρούν τον εικονικό τους εαυτό, να παρακολουθούν την υγεία και τις ασθένειές τους και να οπτικοποιούν οποιαδήποτε άλλα συμβάντα μέσα στο σώμα τους. Οι ασθενείς μπορούν να έχουν πρόσβαση και να δουν τα ιατρικά τους αρχεία, τις πληροφορίες υγείας, τη διατροφική συμπεριφορά, δεδομένα ύπνου και δεδομένα προπόνησης, επιτρέποντάς τους έτσι (ή στους επαγγελματίες της υγειονομικής περίθαλψης) να οπτικοποιήσουν την κατάσταση της υγείας τους ανά πάσα στιγμή.

Στις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και τα ραντεβού, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν να ταιριάξουν πιο επιτυχημένα μεμονωμένα άτομα. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να επιτρέψουν πιο ακριβή προφίλ γνωριμιών και να προσφέρουν τη δυνατότητα στους ανθρώπους να προσομοιώνουν καταστάσεις με πιθανούς συνεργάτες. Επιπλέον, μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των ψεύτικων προφίλ και να προβλέψουν καλύτερα τη συμβατότητα δύο ατόμων.

Οι Saddik et al. πρότειναν τη χρήση ψηφιακών διδύμων για να βοηθήσουν τους γονείς στην ανατροφή των παιδιών. Οι γονείς μπορούν να αλληλοεπιδράσουν με τα ψηφιακά δίδυμα των παιδιών τους για να μεταδώσουν μηνύματα και να παρέχουν οδηγίες έμμεσα. Με την αυξανόμενη χρήση της τεχνολογίας και την ταυτόχρονη εργασία και των δύο γονιών μακριά από το σπίτι, τα ψηφιακά δίδυμα μπορεί να είναι μια βιώσιμη λύση για να βοηθήσουν τους γονείς να αλληλοεπιδράσουν εξ αποστάσεως και να διδάξουν τα παιδιά τους.

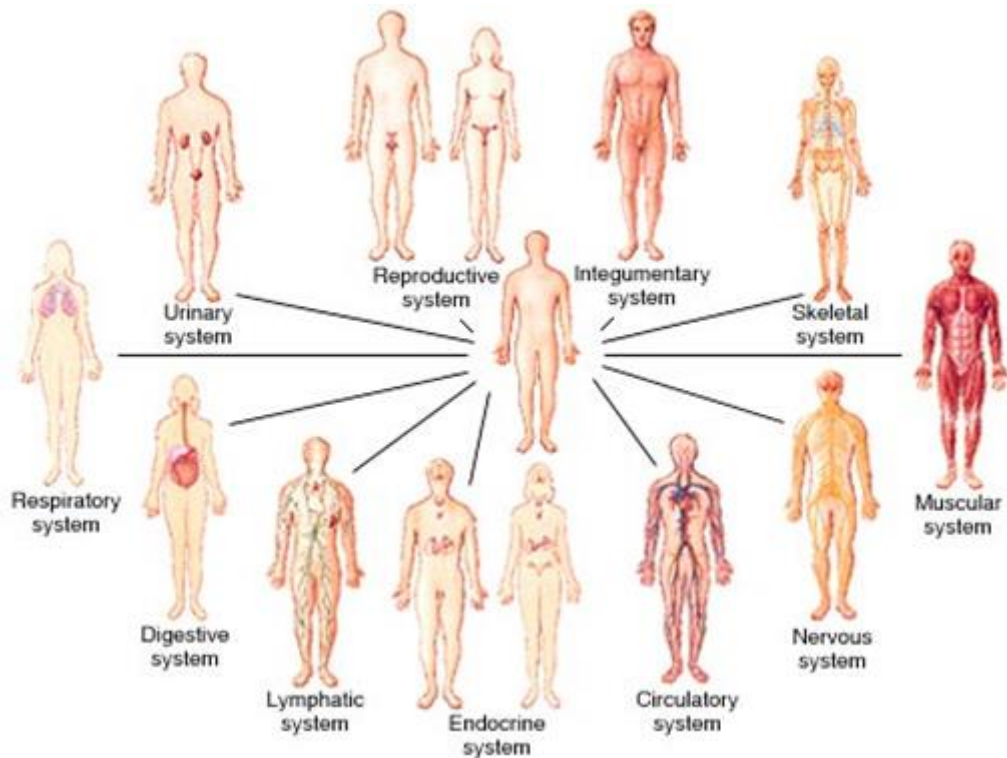
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΣΩΜΑ

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από έντεκα συστήματα οργάνων που είναι αλληλένδετα και αλληλεξαρτώμενα. Λειτουργούν σε απόλυτη αρμονία μεταξύ τους και η λειτουργία του ενός επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα τη λειτουργία όλων ή μερικών άλλων συστημάτων. Όταν ένα σύστημα παρουσιάζει αδυναμία ή δε λειτουργεί μπορεί να οδηγήσει στον τερματισμό όλων των άλλων συστημάτων και να επιφέρει ακόμα και το θάνατο του ανθρώπινου οργανισμού.

Τα έντεκα αυτά συστήματα είναι: το πεπτικό, το καρδιαγγειακό, το ανοσοποιητικό, το ενδοκρινικό, το δερματικό, το μυϊκό, το αναπαραγωγικό, το νευρικό, το σκελετικό, το αναπνευστικό και το ουροποιητικό.

Τα συστήματα αυτά συσσωρεύουν πολλά δεδομένα και τα χρησιμοποιούν για να λειτουργούν αποτελεσματικά στην καθημερινή ζωή. Τα δεδομένα αποθηκεύονται κεντρικά στον εγκέφαλο και στο νευρικό σύστημα και με τη βοήθειά τους πραγματοποιούνται οι αντανακλαστικές ενέργειες του οργανισμού. Κάθε σύστημα λειτουργεί σε τέλειο συγχρονισμό και μετατρέπει τις πληροφορίες σε γνώσεις με σκοπό την καλύτερη λήψη αποφάσεων. Τα δεδομένα αυτά διανέμονται και λαμβάνονται και σε άλλα σημεία, ενώ σπάνια απαιτείται εξωτερική επιρροή για τον εξορθολογισμό του συστήματος με χρήση φαρμάκων ή θεραπείας. Συνήθως με τη βοήθεια του χρόνου και της ανάπαυσης του σώματος, το σύστημα ανακάμπτει γρήγορα. Όταν, όμως, γίνεται κατάχρηση, το σύστημα δε λειτουργεί σωστά και είναι αναγκαία η εξωτερική βοήθεια για την ανάκαμψή του. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).



Σχήμα 3: συστήματα ανθρώπινου σώματος

2.2. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΒΕΡΝΟΧΩΡΟ (CPS) ΜΕ ΤΑ ΑΝΘΡΩΠΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ορισμένα ζωτικά όργανα όπως ο εγκέφαλος, οι πνεύμονες, το συκώτι, τα νεφρά και η καρδιά αποτελούν την κινητήρια δύναμη των συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού, καθώς τα θέτουν σε λειτουργία, συλλέγουν δεδομένα και προσφέρουν ανατροφοδότηση.

Τα φυσικά συστήματα στον κυβερνοχώρο οφείλουν τη δημιουργία τους στα ανθρώπινα συστήματα από τα οποία άντλησαν την έμπνευσή τους. Είναι έξυπνες συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες, ενεργοποιητές και επεξεργαστές που συνδέονται μεταξύ τους σε δίκτυο για να αλληλοεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο και να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την απόδοση αυτών των συσκευών σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα συστήματα αυτά έχουν μεταμορφώσει τη δομή των εργασιών στις βιομηχανίες και στον κυβερνοχώρο, ενσωματώνοντας την έξυπνη και προληπτική χρήση με τους διαθέσιμους πόρους, με αποτέλεσμα την αλλαγή του τρόπου ζωής του σύγχρονου

ανθρώπου. Τα δεδομένα που μεταδίδουν συνεχώς οι αισθητήρες μετατρέπονται σε πληροφορίες προάγοντας τη γνώση και οδηγώντας στη λήψη αποφάσεων, κυρίως μέσω της ανατροφοδότησης που προσφέρουν. Με τη χρήση του Internet of Things όλες οι συσκευές έγιναν εξυπνότερες και συνεργάζονται προσφέροντας πλήθος πολύτιμων δεδομένων, τα οποία αναλύονται με τη χρήση αλγόριθμων της βαθιάς μάθησης (Deep Learning). Τα φυσικά συστήματα του κυβερνοχώρου έχουν τρία σημαντικά συστατικά: το φυσικό υπόστρωμα (the physical layer), το υπόστρωμα δικτύου (The network layer) και το υπόστρωμα εφαρμογής (The application layer). Η ομοιότητα ανάμεσα στα ανθρώπινα συστήματα και τα φυσικά συστήματα του κυβερνοχώρου παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1: Αντιστοιχία φυσικών συστημάτων κυβερνοχώρου-ανθρώπινων συστημάτων

ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΒΕΡΝΟΧΩΡΟΥ	ΑΝΘΡΩΠΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
Φυσικό υπόστρωμα – υπολογισμός	Εγκέφαλος - ενδοκρινικό σύστημα - ανοσοποιητικό σύστημα
Υπόστρωμα δικτύου - επικοινωνία	Καρδιαγγειακό σύστημα - κυκλοφορικό σύστημα- νευρικό σύστημα – αναπνευστικό σύστημα
Υπόστρωμα εφαρμογής - έλεγχος	Νευρικό σύστημα – αναπαραγωγικό σύστημα – μυϊκό σύστημα – σκελετικό σύστημα – ουροποιητικό σύστημα

Στο φυσικό υπόστρωμα με τη χρήση αισθητήρων, ενεργοποιητών και επεξεργαστών υλοποιείται η συγκέντρωση και η αποθήκευση των δεδομένων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει στο ανθρώπινο σώμα με τη λειτουργία του εγκεφάλου και του ενδοκρινικού και ανοσοποιητικού συστήματος.

Στο υπόστρωμα δικτύου επιτυγχάνεται η επικοινωνία ανάμεσα στις έξυπνες συσκευές, καθώς σήμερα είναι δυνατόν μία μηχανή να δίνει οδηγίες σε άλλες μηχανές να λειτουργούν και να λαμβάνουν αποφάσεις. Στο υπόστρωμα δικτύου γίνεται η μετατροπή των αναλογικών δεδομένων σε ψηφιακά και στη συνέχεια τα ψηφιοποιημένα δεδομένα δρομολογούνται ασύρματα ή ενσύρματα ανάλογα με το είδος των συσκευών. Βασικά θέματα που προβληματίζουν σε αυτή τη φάση είναι το απόρρητο, η ασφάλεια και η εμπιστοσύνη. Η ομοιότητα ανάμεσα στο υπόστρωμα δικτύου και το καρδιαγγειακό-κυκλοφορικό, νευρικό και αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού είναι εμφανής. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).

Στο υπόστρωμα εφαρμογής πραγματοποιείται ο έλεγχος των έξυπνων συσκευών με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται στα προηγούμενα υποστρώματα. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές δέχονται ανατροφοδότηση από τα δεδομένα έξυπνης νοημοσύνης και δημιουργούν κατάλληλα σήματα ελέγχου της κατάστασης των αισθητήρων και των ενεργοποιητών, με σκοπό τη διατήρηση ή την τροποποίηση της συμπεριφοράς τους ανάλογα και με τις επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος. Το υπόστρωμα αυτό προσφέρει στο χρήστη συγκεκριμένες υπηρεσίες εφαρμογής. Ανάλογη λειτουργία επιτελείται στο νευρικό, αναπαραγωγικό, μυϊκό, σκελετικό και ουροποιητικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).

Το ανθρώπινο σώμα μέσω των βιολογικών συστημάτων που διαθέτει, δίνει εντολή και ελέγχει τα έξυπνα συστήματα που από την αρχή είναι ενσωματωμένα σε ορισμένα κωδικοποιημένα γονίδια που ονομάζονται DNA. Η τεχνολογία δεν μπορεί να φτάσει το επίπεδο των συστημάτων του ανθρώπινου σώματος που παρουσιάζουν μεγάλη πολυπλοκότητα, αλλά μπορεί να αντλήσει πληροφορίες από την ανθρώπινη βιολογία. Οι φυσικοί αισθητήρες του ανθρώπινου σώματος είναι τα αισθητήρια όργανα (μάτια, αυτιά, μύτη, γλώσσα, δέρμα, νεύρα, αδένες), οι ενεργοποιητές είναι οι μύες, οι σύνδεσμοι, οι αρθρώσεις, οι συνάψεις, οι βαλβίδες στην καρδιά, στο λαιμό, στα βλέφαρα, στο στομάχι κλπ, ενώ οι επεξεργαστές είναι ο νωτιαίος μυελός και ο εγκέφαλος. Το εξωτερικό ερέθισμα λαμβάνεται στο αισθητήριο όργανο (υποδοχέας), π.χ. άγγιγμα δαχτύλου σε καυτό αντικείμενο, το οποίο το ανιχνεύει (πόνος) και το μεταδίδει στο νευρικό σύστημα (εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός), που αποτελεί το συντονιστή, ο οποίος λαμβάνει την απόφαση πώς να αντιδράσει και στέλνει την εντολή στους ενεργοποιητές (μύες χεριού), οι οποίοι θα επιτελέσουν

τη συγκεκριμένη αντίδραση – λειτουργία (απομάκρυνση του χεριού από το καυτό αντικείμενο). Ανάλογα, σε ένα έξυπνο δωμάτιο, το ερέθισμα από τον αισθητήρα θερμοκρασίας στέλνει ειδοποίηση για την αύξηση της θερμοκρασίας στη συσκευή άκρης που ενεργοποιεί το κλιματιστικό στο δωμάτιο, το οποίο δίνει εντολή και τίθεται σε λειτουργία το κλιματιστικό. Σχηματικά η αναλογία μπορεί να δοθεί ως εξής:

Πίνακας 2: παράδειγμα αντιστοιχίας CPS-ανθρώπινου συστήματος

ΔΙΕΓΕΡΣΗ →	ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ→	ΔΙΑΚΙΝΗΤΗΣ →	
ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ			
ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΑΦΗΣ	ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΟΝΟΥ	ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΜΥΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΚΡΗΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ CLOUD	ΑΝΟΙΓΜΑ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟΥ			

Συγκρίνοντας τα δύο συστήματα διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν πολλές ομοιότητες, αλλά και πολλές διαφορές. Το ανθρώπινο σύστημα δουλεύει στο μικροεπίπεδο, ενώ το CPS στο μακροεπίπεδο. Το επίπεδο αλληλοεπίδρασης ανάμεσα στα συστήματα του ανθρώπινου σώματος είναι ασφαλές και χωρίς εμπόδια, μπορεί να μελετηθεί και να εξασκηθεί, καθώς και να αναπτυχθεί σταδιακά. Αντίθετα, το CPS δημιουργείται μία φορά και αποτελεί ένα σύστημα πλήρως αναπτυγμένο με ειδικά μακρο- αντικείμενα. Τα συστήματα του ανθρώπινου σώματος είναι φτιαγμένα για να αντιδρούν μεταξύ τους με την ανθρώπινη παρέμβαση ή με δεδομένα αυτόματης βαθιάς γνώσης που οδηγούν στη λήψη αποφάσεων. Το ψηφιακό δίδυμο είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο του φυσικού αντικειμένου και μπορεί να αναπαράγει ψηφιακά τη συμπεριφορά του και να δώσει μια εικόνα της αντίδρασής του σε διάφορες ενέργειες. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).

2.3. ΤΟΜΕΙΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΥΒΕΡΝΟΧΩΡΟΥ (CPS) ΜΕ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

1. ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗ

Στο ανθρώπινο σώμα υπάρχει εμπιστοσύνη ανάμεσα στους αισθητήρες, ενώ με το αποτύπωμα του DNA κάθε αισθητήρας μπορεί να αναγνωρίσει την είσοδο ενός ξένου αντικειμένου, καθώς η

είσοδος του προκαλεί πόνο. Επιπλέον, η ταυτότητα κάθε αισθητήρα είναι καθορισμένη. Αντίθετα, οι έξυπνες συσκευές παρουσιάζουν προβλήματα όσον αφορά την εμπιστοσύνη και τον καθορισμό της ταυτότητας τους σε ένα δίκτυο, ενώ επειδή δεν είναι ζωντανοί οργανισμοί δεν αισθάνονται πόνο κατά την είσοδο ενός ξένου αντικειμένου.

2. ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ

Τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος αναγνωρίζονται από τα αντιγόνα, που λειτουργούν ως ετικέτες ταυτότητας. Με τη βοήθειά τους πραγματοποιείται ο εντοπισμός και η πρόληψη της παράνομης εισόδου ενός εισβολέα στο σώμα και η διατήρηση της ασφάλειας των ανθρώπινων συστημάτων. Επομένως, το ίδιο πρέπει να γίνει στο CPS, δηλαδή να οριστούν ετικέτες ταυτότητας για την αναγνώριση των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένοι με στόχο την αναγνώρισή τους ως μέρος του δικτύου.

3. ΑΠΟΡΡΗΤΟ

Το απόρρητο αποτελεί σημαντικό τομέα ενδιαφέροντος για το CPS, καθώς τα δεδομένα πρέπει να διατηρούνται για ατομική χρήση και να μην επιτρέπεται η πρόσβαση σε κανέναν άλλον, χωρίς τη συγκατάθεση του προσώπου που αφορούν. Παράδειγμα προστασίας του απορρήτου στο ανθρώπινο σώμα αποτελεί ο εγκέφαλος, ο οποίος αποθηκεύει αλληλένδετες εμπειρίες που μπορούν να ανακτηθούν με το κατάλληλο ερώτημα – ερέθισμα. Κρίνεται, λοιπόν, αναγκαία στα κυβερνοσυστήματα η αποθήκευση και η χρήση τεχνικών ομαδοποίησης με σκοπό την ευκολότερη ανάκλησή τους.

4. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν φυσικοί και χημικοί μηχανισμοί που το προστατεύουν από τις εξωτερικές επιρροές. Ένα σύμπλεγμα αισθητήρων συνεργάζονται για το σκοπό αυτό. Για παράδειγμα το δέρμα προστατεύει εξωτερικά το ανθρώπινο σώμα, το κρανίο τον εγκέφαλο, τα λευκά αιμοσφαίρια από τους παθογόνους μικροοργανισμούς, τα νύχια τα δάκτυλα κλπ. Στο CPS οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές πρέπει να ομαδοποιούνται με αλγόριθμους εμπνευσμένους από τη φύση, ώστε να λαμβάνονται οι σωστές αποφάσεις και να παρέχεται συνεχής

ανατροφοδότηση στο σύστημα, καθώς υπάρχουν προβλήματα λόγω της μη σύνδεσης και αλληλεξάρτησης των συστημάτων. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).

2.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ CPS

1. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Το ανθρώπινο σύστημα διαθέτει ποικίλους μηχανισμούς παρακολούθησης. Ένα παράδειγμα αποτελεί η θερμοκρασία του σώματος και η διατήρησή της με τη βοήθεια του δέρματος και των ιδρωτοποιών αδένων και τη συνεργασία του μυϊκού και κυκλοφορικού συστήματος

2. ΕΛΕΓΧΟΣ

Ένα παράδειγμα ελέγχου που μπορούμε να αναφέρουμε είναι η λειτουργία του ανθρώπινου χεριού από τον εγκέφαλο με τη βοήθεια των τενόντων, των συνδέσμων, των οστών, των αρτηριών, των μυών και του δέρματος. Ο εγκέφαλος με το συγχρονισμό των άλλων συστημάτων κατευθύνει τις κινήσεις του χεριού, τις οποίες μπορεί να επιτελέσει το χέρι ενός ρομπότ. Το πλεονέκτημα των ανθρώπινων συστημάτων είναι ότι μαθαίνουν και εξερευνούν από μόνα τους, ενώ οι μηχανές δεν έχουν την ικανότητα να σκεφτούν μόνες τους, αλλά ελέγχονται από τον δημιουργό τους και δεν μπορούν να μάθουν ή να ενεργήσουν αφ' εαυτές.

3. ΔΙΑΓΝΩΣΗ

Ένα παράδειγμα από το ανθρώπινο σώμα που μπορούμε να αναφέρουμε είναι ο πονοκέφαλος, ο οποίος μπορεί να δείξει κάποια μόλυνση ή άγχος όταν ο εγκέφαλος και τα μάτια είναι κουρασμένα. Η διάγνωση γίνεται αμέσως με την αίσθηση του πόνου και το σώμα απαιτεί ανάπαυση. Το πρόβλημα με το CPS είναι ότι δεν υπάρχει η αίσθηση του πόνου και η εξακρίβωση της περιοχής και της θεραπείας πραγματοποιείται έξω από το σύστημα με τη βοήθεια της ανάλυσης δεδομένων και της βαθιάς γνώσης που δημιουργούν πρότυπα από ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων.

4. ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ

Παραδείγματα προειδοποίησης στο ανθρώπινο σώμα είναι ο φόβος που οδηγεί στο αίσθημα φυγής ή αντιμετώπισης της κατάστασης και ο πόνος που κατευθύνει στην ανάπαυση ή τη

διαδικασία ανάρρωσης. Το CPS εκπαιδεύεται να μάθει την προειδοποίηση με την ανάλυση δεδομένων και τη χρήση έξυπνων αλγόριθμων, με σκοπό τη λήψη έξυπνων αποφάσεων. Τέτοια όμως συστήματα, όπως οι πυρηνικοί αντιδραστήρες είναι δαπανηρά και υφίστανται αρνητική κριτική.

5. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο ανθρώπινο σώμα η συλλογή των δεδομένων επιτυγχάνεται στον εγκέφαλο σε διαφορετικά επίπεδα και με διαφορετικές συνάψεις που δεν έχουν ακόμα ανακαλυφθεί. Στο CPS τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες και αποθηκεύονται σε νέφος με τη χρήση έξυπνων αλγορίθμων. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι απουσιάζει η σημασιολογία στην αποθήκευση των δεδομένων, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να επιτευχθεί η σύνδεση των δεδομένων με τις εμπειρίες, όπως στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

6. ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Το ανθρώπινο σύστημα έχει ένα εξαιρετικό τρόπο οπτικοποίησης των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στον εγκέφαλο, μέσω των ονείρων και των εμπειριών, ώστε το άτομο να αποκτά γνώσεις και να λαμβάνει σωστές αποφάσεις. Πρόσφατα στο CPS, μέσω των νευρωνικών δικτύων είναι δυνατή η ταξινόμηση και ανίχνευση των δεδομένων με τρόπο όμοιο με αυτόν του ανθρώπου. Τα δεδομένα που έχουν συσσωρευτεί από τα δίκτυα των αισθητήρων μπορούν να βοηθήσουν τα μοντέλα να μάθουν μόνα τους και να βοηθήσουν τα μοτίβα να κάνουν σωστές προβλέψεις.

7. ΑΥΤΟΪΑΣΗ

Η ικανότητα των συστημάτων του ανθρώπινου σώματος να αυτοθεραπεύονται, όπως στην περίπτωση της επούλωσης πληγών, δεν έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε ένα CPS. Η αυτοθεραπευτική φύση δεν μπορεί να αναπαραχθεί σε ένα φυσικό σύστημα στον κυβερνοχώρο, καθώς τα συστήματα έχουν δημιουργηθεί, αλλά δεν αναπτύσσονται. Μπορούν μόνο να καθορίσουν τι υπάρχει ή να εξηγήσουν γιατί κάτι δεν υπάρχει. Η τεχνολογία της νανοϊατρικής προσπαθεί να εφαρμόσει αυτή την αυτοθεραπεία στα ανθρώπινα συστήματα που χρειάζονται εξωτερική βοήθεια για αποκατάσταση με τη χρήση στοχευμένης ιατρικής και θεραπείας. (Barnabasa J., Rajb P, 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1. ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΔΥΜΟ

Το ανθρώπινο ψηφιακό δίδυμο είναι ένα αντίγραφο στον ψηφιακό κόσμο ενός πραγματικού προσώπου στον φυσικό κόσμο. Μπορούμε να φανταστούμε ότι υπάρχει κάποιος σας κι εμάς στον ψηφιακό κόσμο, ο οποίος όμως δεν έχει την ψυχή μας, ούτε ξέρει τι σκεφτόμαστε. Είναι η ενσάρκωσή μας στον κυβερνοχώρο, αλλά στην ουσία είναι μια βάση δεδομένων που καταγράφει πληροφορίες, όπως την ηλικία, το φύλο, το βάρος, το οικογενειακό μας δέντρο κλπ. Είναι η ψηφιακή περιγραφή σε έναν υπολογιστή ή ένα διακομιστή σε νέφος (cloud). (Σκιτζη, Γ., 2021)

3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΔΙΔΥΜΟΥ

1. Κάθε άνθρωπος στον πραγματικό κόσμο έχει ένα ανάλογο Ανθρώπινο Ψηφιακό Δίδυμο αποθηκευμένο στον Κυβερνοχώρο, με ένα μοναδικό ευρετήριο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται ως ταυτότητα και λογαριασμός για τη σύνδεση με το Ανθρώπινο Ψηφιακό Δίδυμο.
2. Μετά τη γέννηση ενός ατόμου, όσο το δυνατό συντομότερα, μπορεί να δημιουργηθεί από το γιατρό, τους γονείς ή τους ειδικούς ενός νοσοκομείου ή άλλου ιατρικού κέντρου το ψηφιακό του δίδυμο, που θα το συνοδεύει σε όλη του τη ζωή. Κάθε άτομο έχει κληρονομήσει από τους προγόνους του βιολογικά γενετικά χαρακτηριστικά, τα οποία μπορεί να κληροδοτήσει στις επόμενες γενιές. Συγγενικά πρόσωπα μπορεί να παρουσιάσουν τις ίδιες ασθένειες και τα ίδια χαρακτηριστικά. Επομένως, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να αποτελέσει μια βάση δεδομένων για τις διαγνώσεις ασθενειών.
3. Κάθε άτομο και το ανάλογο ψηφιακό του δίδυμο θα αλλάζουν συγχρονισμένα. Κάθε αλλαγή του ατόμου (εσωτερικοί παράγοντες, π.χ. βάρος), οι επιδράσεις που δέχεται (εξωτερικοί παράγοντες, π.χ. θεραπείες) και η ανταπόκρισή του σε αυτές (έξοδος, π.χ. θυμός) θα μεταφέρονται στο ψηφιακό δίδυμο στον κυβερνοχώρο.

4. Τα δεδομένα από κάθε εξέταση, εμβολιασμό, θεραπεία, φυσική άσκηση κλπ., μπορούν στα ιατρικά κέντρα να μεταφερθούν από το προσωπικό τους στο ψηφιακό δίδυμο ως κείμενα (όπως διαγνώσεις), εικόνες (όπως ηλεκτροκαρδιογράφημα), ή αριθμοί (όπως πίεση αίματος, βάρος, ύψος), με τη συγκατάθεση βέβαια του προσώπου στον πραγματικό κόσμο.

5. Κάποια χαρακτηριστικά του ανθρώπου, όπως η ηλικία και το ύψος αλλάζουν φυσικά και σταδιακά, ακολουθώντας τους κανόνες της ανθρώπινης ανάπτυξης. Την ίδια στιγμή «μεγαλώνει» και το ψηφιακό δίδυμο με τη συλλογή, τη μέτρηση και την εισαγωγή αυτών των αλλαγών από τις έξυπνες συσκευές.

6. Με την τεχνολογία της επικοινωνίας στέλνονται στο ανθρώπινο ψηφιακό δίδυμο όλα τα είδη των δεδομένων από φορητούς αισθητήρες, όπως το βάρος, η αρτηριακή πίεση, ο παλμός, ο καρδιακός ρυθμός, η αναπνοή, τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, το μέγεθος της σωματικής άσκησης, οι συναισθηματικές αλλαγές. Επίσης, οι οικογενειακές διατροφικές συνήθειες, τα είδη της εκπαίδευσης και γενικά όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν το ανθρώπινο περιβάλλον του ατόμου, αποθηκεύονται στο ψηφιακό δίδυμο, του οποίου αλλάζουν συγχρόνως τα δεδομένα. Σκοπός είναι να υπάρχει συνέπεια ανάμεσα στο άτομο και το ψηφιακό του δίδυμο και αν αυτή η συνέπεια ελαττωθεί, να αποκατασταθεί με τη βοήθεια της Block Chain τεχνολογίας.

7. Η ποικιλία των δεδομένων και των πληροφοριών στο ανθρώπινο ψηφιακό δίδυμο δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της κατάστασης του πραγματικού προσώπου τόσο στο ίδιο όσο και στο νοσοκομείο με το οποίο σχετίζεται. Τα αποτελέσματα για την κατάσταση της υγείας του ατόμου χρησιμοποιούνται ως ανατροφοδότηση του ίδιου του ατόμου και του ιατρικού προσωπικού, ως πρόβλεψη, προτάσεις, καθοδήγηση, προειδοποίηση, ή πρόγραμμα θεραπείας. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στο άτομο να προβεί σε βελτιώσεις, όπως να αυξήσει τη σωματική του άσκηση ή να λάβει ταχύτερα θεραπεία, ενώ σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης είναι δυνατή η αποστολή ασθενοφόρου από το νοσοκομείο και η παροχή πρώτων βοηθειών. (Croatti, A., et al., 2020)

8. Η τεχνολογία VR/AR μπορεί να προσφέρει μια ζωντανή τρισδιάστατη εικόνα του πραγματικού ατόμου και να παρουσιάσει οπτικά, αλλά δυναμικά την κατάσταση της υγείας του. Είναι δυνατόν

κάποιος να παρακολουθήσει ακόμα και τα εσωτερικά όργανα του οργανισμού του με τη 3D Reconstruction Technology.

9. Για την εξασφάλιση του απορρήτου και την αποφυγή παραβίασης γίνεται χρήση της τεχνολογίας: κωδικός πρόσβασης, δαχτυλικό αποτύπωμα, αναγνώριση ίριδας οφθαλμού, κρυπτογράφηση της αλυσίδας μπλοκ, έλεγχος ταυτότητας κλπ. Κάθε ψηφιακό δίδυμο διαθέτει ένα λογαριασμό και έναν κωδικό πρόσβασης για τη σύνδεση και την προβολή των πληροφοριών, τον οποίο κατέχει και ελέγχει το ενήλικο άτομο στον πραγματικό κόσμο ή ο κηδεμόνας του ανήλικου, ενώ μπορεί να έχει πρόσβαση ο γιατρός ή ο ειδικός σε περίπτωση ανάγκης με τη συγκατάθεση φυσικά του πραγματικού προσώπου.

10. Η εξασφάλιση της αξιόπιστης πρόσβασης σε ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα του ψηφιακού διδύμου γίνεται με τη χρήση και άλλων μηχανισμών ασφάλειας, ώστε η επικοινωνία ανάμεσα στα ιατρικά κέντρα, τις οικογένειες και τους κόμβους των προσωπικών δεδομένων να εκτελείται με αλγόριθμους ασφαλείας και να επιτυγχάνεται η ασφάλεια και η επαλήθευση. (Σκιτζη, Γ., 2021)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΚΑΙ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων κατακτά ολοένα και περισσότερο έδαφος στο χώρο της υγειονομικής περίθαλψης, καθώς δύναται να γίνει εφαρμογή της στην εξατομικευμένη ιατρική. Η εξατομικευμένη ιατρική που είναι γνωστή και με τον όρο ιατρική ακριβείας, αποτελεί μια μορφή ιατρικής προσέγγισης, η οποία λαμβάνει υπόψη της τη γενετική σύνθεση, τον τρόπο ζωής και το περιβάλλον ενός ατόμου με σκοπό την προσαρμογή των θεραπειών εξατομικευμένα.

Με τη βοήθεια των ψηφιακών διδύμων οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης έχουν τη δυνατότητα να προβούν σε χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ώστε να κατανοήσουν γρηγορότερα και ασφαλέστερα τις συγκεκριμένες ανάγκες του ασθενούς και να επιλέξουν ανάλογα τη σωστή θεραπεία. Ο συνδυασμός των ψηφιακών διδύμων με δεδομένα άλλων πηγών, όπως ιατρικών αρχείων και γονιδιωματικών δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα μιας ολοκληρωμένης εικόνας του ασθενούς και οδηγεί στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων υγείας του.

Ιδιαίτερα σημαντική, επίσης, κρίνεται η συμβολή των ψηφιακών διδύμων στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων των θεραπειών και την πρόβλεψη πιθανών ανεπιθύμητων παρενεργειών. Με τη χρήση τους οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να προλάβουν τα συμπτώματα των ασθενειών πριν εμφανιστούν και να διασφαλίσουν καλύτερα αποτελέσματα στην υγεία του ασθενούς λαμβάνοντας την κατάλληλη απόφαση για τη θεραπεία του.

Οι δυνατότητες, εξάλλου, που παρέχουν τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν τη δυνατότητα στους γιατρούς να έχουν στη διάθεσή τους ένα συνεχώς ενημερωμένο μοντέλο της υγείας του ασθενούς που τους επιτρέπει την παρακολούθηση και την πρόβλεψή της και κατά συνέπεια την ακριβή διάγνωση και θεραπεία της. Κατά αυτόν τον τρόπο μειώνεται το κόστος που σχετίζεται με τις περιττές εξετάσεις και θεραπείες.

Επιπροσθέτως, τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται στην παρακολούθηση της υγείας ασθενών εξ αποστάσεως, καθώς επιτρέπουν τις λεγόμενες εικονικές επισκέψεις των ασθενών. Παρέχουν

φροντίδα σε ασθενείς σε αγροτικές και δυσπρόσιτες περιοχές μειώνοντας το κόστος των πραγματικών επισκέψεων στα ιατρεία και τα νοσοκομεία και επιλύοντας τα προβλήματα υγείας κατοίκων που αδυνατούν να έχουν πρόσβαση σε αυτά.

Επιπλέον, με τα ψηφιακά δίδυμα οι κλινικές δοκιμές διεξάγονται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, καθώς με την προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός ασθενούς, οι ερευνητές είναι σε θέση να προσδιορίσουν τις καταλληλότερες και αποτελεσματικότερες θεραπείες χωρίς να απαιτούνται τα αποτελέσματα των φυσικών εξετάσεων. Ως εκ τούτου, μειώνονται τόσο ο χρόνος όσο και οι δαπάνες για τις κλινικές δοκιμές και καθίσταται ευκολότερη η εξασφάλιση της έγκρισης για εξατομικευμένες ιατρικές θεραπείες.

Παράλληλα, με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων, μειώνεται ο κίνδυνος των ανεπιθύμητων ενεργειών στις κλινικές δοκιμές. Με την προσομοίωση της ανταπόκρισης του ασθενούς στις θεραπείες, οι ερευνητές έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν πιθανές παρενέργειες πριν ξεκινήσει η δοκιμή. Έτσι, επιτυγχάνεται η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα των θεραπειών πριν χρησιμοποιηθούν στους ασθενείς. Εκτός, λοιπόν, του εξορθολογισμού της διαδικασίας κλινικών δοκιμών εξασφαλίζεται η έγκριση εξατομικευμένων ιατρικών και φαρμακευτικών θεραπειών.

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων υπόσχεται να φέρει επανάσταση στο χώρο της εξατομικευμένης ιατρικής, επικουρώντας το έργο του υγειονομικού προσωπικού για τη λήψη των σωστών αποφάσεων και την προσαρμογή αποτελεσματικών θεραπειών με την παροχή πληροφοριών για την κατανόηση της ολοκληρωμένης εικόνας των ασθενών. Η βελτίωση των κλινικών αποτελεσμάτων, η μείωση του κόστους, η βελτιστοποίηση των κλινικών δοκιμών και η ασφαλής έγκριση θεραπειών εξατομικευμένης ιατρικής αποτελούν αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα της χρήσης τους στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης.

4.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ

Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων προσφέρει τη δυνατότητα να γίνει το ακατόρθωτο εφικτό. Όσον αφορά το IoT, οι συσκευές πιο προσιτές οικονομικά και πιο εύκολες στην εφαρμογή, με αποτέλεσμα την αύξηση της συνδεσιμότητας. (P. Zheng, A. et al., 2020). Μια μελλοντική εφαρμογή είναι το ψηφιακό δίδυμο του ανθρώπου, η οποία παρουσιάζει την ανάλυση του σώματος σε πραγματικό χρόνο. Μια πιο ρεαλιστική τρέχουσα εφαρμογή είναι το ψηφιακό δίδυμο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των επιδράσεων διαφόρων φαρμάκων. Μια άλλη εφαρμογή έχει στόχο τη χρήση του ψηφιακού διδύμου για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων. (Fei Tao, et al, 2018).

Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι η χρήση του ψηφιακού διδύμου παρέχει στους ερευνητές, γιατρούς, νοσοκομεία και παρόχους υγειονομικής περίθαλψης τη δυνατότητα να προσομοιώνουν περιβάλλοντα ειδικά για τις ανάγκες τους είτε σε πραγματικό χρόνο είτε στοχεύοντας σε μελλοντικές χρήσεις και εφαρμογές. Επιπλέον, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) με σκοπό να πραγματοποιούνται πιο έξυπνες προβλέψεις και να λαμβάνονται πιο σωστές αποφάσεις.

Πολλές, βέβαια, εφαρμογές στην υγειονομική περίθαλψη δεν περιλαμβάνουν άμεσα τον ασθενή, αλλά η ωφέλειά τους έγκειται στην προσπάθεια για συνεχή παρακολούθηση, φροντίδα και θεραπεία του, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία αυτών των συστημάτων στην ιατρική πρακτική. Αν και η χρήση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι σε πρωταρχικό στάδιο, οι δυνατότητες είναι τεράστιες από τη διαχείριση μιας κλίνης ασθενούς μέχρι τη διαχείριση θαλάμων μεγάλης κλίμακας και ολόκληρων νοσοκομείων. (Lo, C. K., et al., 2021).

Η μεγαλύτερη προσφορά των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι η ικανότητα προσομοίωσης και δράσης σε πραγματικό χρόνο, η οποία μπορεί να καταστεί καθοριστική καθώς ο τρόπος αντιμετώπισης πολλών ασθενειών δύναται να διατηρήσει τον ασθενή στη ζωή ή να μην αποτρέψει τον θάνατο. Επιπροσθέτως, τα ψηφιακά δίδυμα θα μπορούσαν να συμβάλουν στην προγνωστική συντήρηση και συνεχή επισκευή του ιατρικού εξοπλισμού. Το πιο σημαντικό, όμως, είναι ότι τα ψηφιακά δίδυμα σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη οδηγούν στη λήψη

αποφάσεων που σώζουν ζωές με τη βοήθεια βάσεων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και ιστορικών δεδομένων. (K. Mubarak, et al., 2018)

Η χρήση του ψηφιακού διδύμου ενός ατόμου για την παρακολούθηση της καθημερινής υγείας και ευεξίας μπορεί να δώσει στο ανθρώπινο δίδυμο τη δυνατότητα να προσομοιώσει τις θετικές και αρνητικές αλλαγές στον τρόπο ζωής του, ενώ η προσομοίωση χειρουργικής επέμβασης έχει ως στόχο να εντοπιστούν και να αποφευχθούν οι κίνδυνοι πριν την πραγματοποίησή της με τη χρήση του εικονικού διδύμου του ασθενούς. Η εξ αποστάσεως χειρουργική, καθώς και η δυνατότητα υλοποίησης προεγχειρητικών ελέγχων εξ αποστάσεως μέσω ενός ψηφιακού διδύμου υπόσχεται την ελαχιστοποίηση των κινδύνων για τη ζωή του ασθενούς.

4.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ

Τα ψηφιακά δίδυμα που χρησιμοποιούνται στον χώρο της υγειονομικής περίθαλψης διακρίνονται σε: Ψηφιακά δίδυμα Grey Box, Ψηφιακά δίδυμα Surrogate και Ψηφιακά δίδυμα Black Box. Οι ονομασίες αυτές είναι εμπνευσμένες από την ορολογία που χρησιμοποιείται σε συστήματα και μαθητική θεωρία μοντελοποίησης και αντικατοπτρίζουν την τυπική έννοια που δίνεται στη θεωρία συστημάτων και μοντελοποίησης.

Το ψηφιακό δίδυμο Grey Box που περιγράφει μια οντότητα του πραγματικού κόσμου ή ένα φαινόμενο έχει συνήθως κάποιο υποκείμενο θεωρητικό μοντέλο και βασίζεται σε κάποια θεμελιώδη επιστήμη (φυσική). Για να είναι πλήρες και να ανταποκρίνεται στον επιδιωκόμενο σκοπό είναι ανάγκη να βαθμονομηθεί, ώστε να αντικατοπτρίζει την οντότητα ή το φαινόμενο του πραγματικού κόσμου. Ένα παράδειγμα που θα μπορούσε να αναφερθεί για να γίνει κατανοητό πως εφαρμόζεται στην υγειονομική περίθαλψη ένα ψηφιακό δίδυμο Grey Box είναι το εξής: ένα ψηφιακά υλοποιήσιμο γενικό μοντέλο της ανθρώπινης καρδιάς με τα αιμοφόρα αγγεία που έχει μελετηθεί και επικυρωθεί αποτελεί ένα μοντέλο Grey Box. Αν όμως το μοντέλο αυτό πρόκειται να μιμηθεί την καρδιά ενός συγκεκριμένου ανθρώπου με τα αιμοφόρα αγγεία, αυτό το μοντέλο πρέπει να βαθμονομηθεί ή να ρυθμιστεί για να ταιριάζει με την καρδιά του συγκεκριμένου ανθρώπου. Αυτή η βαθμονόμηση είναι δυνατόν να περιλαμβάνει κάποια ρύθμιση παραμέτρων,

εκτίμηση, μέτρηση, διασύνδεση δεδομένων ή ίσως τη διασύνδεση ανθρώπου-υπολογιστή. Επομένως, αν το γενικό μοντέλο συνεχίσει να μιμείται τη συμπεριφορά τη καρδιάς και των αιμοφόρων αγγείων του συγκεκριμένου ανθρώπου, σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο αυτό γίνεται ο ψηφιακός δίδυμος της καρδιάς του συγκεκριμένου ανθρώπου.

Το ψηφιακό δίδυμο Surrogate είναι εκείνο που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αντιπροσωπευτικό των συνολικών διαδικασιών ή των ροών διαδικασιών σε εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης. Για παράδειγμα, ένα τέτοιου είδους ψηφιακό δίδυμο θα μπορούσε να παρουσιάζει κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις, όπως μια ένδειξη στην οθόνη ενός υπολογιστή που να δείχνει τη θέση ενός ασθενοφόρου και την κλινική κατάσταση του ασθενούς στον χώρο υποδοχής τραυματιών, με στόχο τον συντονισμό της άφιξης του ασθενοφόρου και της φροντίδας του τραυματία. Τα ψηφιακά δίδυμα Surrogate δε βασίζονται σε κάποια θεωρία, αλλά κατασκευάζονται για να είναι αντιπροσωπευτικά των ροών της διαδικασίας. (Λεονταρίδης, Β., 2023)

Τα ψηφιακά δίδυμα Black Box προκύπτουν στο πλαίσιο ενός προτύπου χωρίς μοντέλα ή ενός προτύπου με λιγότερη έμφαση στα μοντέλα, στηριζόμενα στις αρχές της πιθανολογικής και στατιστικής μάθησης. Αυτού του είδους τα ψηφιακά δίδυμα βασίζονται σε εκτενή αρχεία ιατρικών φακέλων παλαιότερων ασθενών. Έτσι, για παράδειγμα, όταν εμφανίζεται ένας νέος ασθενής, θα μπορούσε να εντοπιστεί ο ψηφιακός του δίδυμος που θα ταιριάζει καλύτερα στον νέο ασθενή από τα διαθέσιμα δεδομένα παλαιότερων ασθενών. Αυτός ο τρόπος δημιουργίας ψηφιακών διδύμων για την ενίσχυση της εξατομικευμένης θεραπείας σχετίζεται με τον εξατομικευμένο σχεδιασμό της θεραπείας του καρκίνου. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να ενσωματωθούν μεγάλα σύνολα δεδομένων, όπως γονιδιωματικά δεδομένα και να αξιοποιηθούν οι εξελίξεις στη μηχανική μάθηση.

4.4. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ

Στην παρούσα εργασία θα γίνει παρουσίαση κάποιων μελετών περίπτωσης όπου χρησιμοποιούνται συστήματα ψηφιακών διδύμων. Τα ψηφιακά δίδυμα περίπλοκων συστημάτων

απαιτούν ένα μεγάλο ποσό δεδομένων για την ακριβή παρουσίαση των φυσικών ομολόγων τους (αντιγράφων τους). Διαφορετικοί τύποι δεδομένων μπορούν να συγκεντρωθούν μέσω διαφορετικών μεθόδων και να ενσωματωθούν μέσα σε ένα μοντέλο με σκοπό την προσομοίωση οργάνων ή ολόκληρων οργανισμών. Η συλλογή αυτή των δεδομένων παρουσιάζει μεγαλύτερες προκλήσεις σε σχέση με άλλους τομείς που εφαρμόζεται η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων. Ενώ, πλήθος περιβαλλοντικών δεδομένων μπορεί να συλλεχθεί με τη χρήση αισθητήρων που φοριούνται στο σώμα, όπως έξυπνα κινητά, άλλα δεδομένα απαιτούν πιο περίπλοκες και επεμβατικές μεθόδους, όπως ωμικές ή εικονικές πληροφορίες.

Στην συγκεκριμένη εργασία θα επιχειρηθεί μια παρουσίαση από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας ορισμένων σύγχρονων μελετών περίπτωσης σε διαφορετικά πεδία της υγειονομικής περίθαλψης που αναδεικνύουν τη χρήση των ψηφιακών διδύμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1. ΕΞΥΠΝΗ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ - ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ, ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται, αυξάνεται αντίστοιχα και η ανάγκη για ποιοτικό επίπεδο ιατρικών υπηρεσιών και επομένως η ζήτηση για τεχνολογία πληροφοριών στην ιατρική. Η έννοια της «Έξυπνης Υγείας» προσφέρει πολλές προτάσεις που στοχεύουν στην επίλυση των οξέων προβλημάτων που αντιμετωπίζει η σύγχρονη υγειονομική περίθαλψη. Στο σημείο αυτό της εργασίας θα εξεταστούν τα κύρια προβλήματα της σύγχρονης υγειονομικής περίθαλψης, οι υπάρχουσες προσεγγίσεις και τεχνολογίες στους τομείς των ψηφιακών διδύμων, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και η κινητή ιατρική, η αποτελεσματικότητά τους στην επίλυση των προβλημάτων που έχουν τεθεί, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τη θεραπεία ασθενών και η έννοια της πλατφόρμας της «Έξυπνης Υγείας».

Η «έξυπνη υγειονομική περίθαλψη» είναι ένα σύστημα που αντιμετωπίζει τις προκλήσεις της υγειονομικής περίθαλψης με σύγχρονες τεχνολογίες και προσεγγίσεις στη θεραπεία και παρακολούθηση ασθενών.

5.2. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ (Smart Healthcare)

Η έννοια της «Έξυπνης Υγείας» είναι μέρος της έννοιας του «Έξυπνου Πλανήτη» που προτάθηκε από την IBM (International Business Machines Corporation) το 2009. Με τον όρο έξυπνος πλανήτης εννοείται μια έξυπνη υποδομή που χρησιμοποιεί αισθητήρες για την απόκτηση πληροφοριών, που μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και τις επεξεργάζεται χρησιμοποιώντας υπερυπολογιστές και υπολογιστικό νέφος. (Li, H. and Ge, J., 2015)

Υπό αυτή την έννοια, η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη είναι ένα σύστημα υγείας που χρησιμοποιεί τεχνολογίες όπως π.χ. φορητές συσκευές, IoT και κινητό Διαδίκτυο παρέχοντας δυναμική πρόσβαση σε πληροφορίες, σύνδεση με ανθρώπους, υλικά και ιδρύματα που

σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη και εν συνεχεία ενεργή διαχείριση και ανταπόκριση στις ανάγκες του ιατρικού οικοσυστήματος με ευφυή τρόπο.

Η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας στην ιατρική, και για να γίνει αυτό κατανοητό θα επιχειρηθεί η παρουσίαση των προβλημάτων που σχετίζονται με την έννοια της έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης επικεντρώνοντας στις κύριες τεχνολογίες και προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την επίλυση αυτών των προβλημάτων.

5.3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ

Τα βασικά προβλήματα της σύγχρονης υγειονομικής περίθαλψης προκαλούνται κυρίως από τους εξής παράγοντες (Farahani, B., et al., 2018):

- αύξηση του πληθυσμού και του προσδόκιμου της ζωής που οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ασθενών που χρειάζονται την προσοχή των γιατρών·
- δυσκολία παρακολούθησης των ασθενών και της τήρησης της συνταγογραφούμενης θεραπείας·
- αύξηση του αριθμού των ηλικιωμένων ατόμων που χρειάζονται φροντίδα και εποπτεία (PD U. N.-D. of E. and S. A., 2013)
- αστικοποίηση, που αυξάνει τις πιθανότητες επιδημιών που προκαλούνται από την συγκέντρωση μεγάλου αριθμού ανθρώπων. Τέτοιες επιδημίες μπορεί να οδηγήσουν σε απότομη αύξηση του αριθμού των ασθενών που απαιτούν ιατρική φροντίδα. Ένα πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η πρόσφατη κρίση που προκλήθηκε από την πανδημία της COVID-19, που αποκάλυψε ότι ο πυκνός πληθυσμός στα αστικά κέντρα αποτέλεσε μια από τις αιτίες της επιτάχυνσης της διάδοσης των επιδημιών. (Carozzi, F., 2020).
- έλλειψη επαγγελματιών υγείας, γεγονός που δυσχεραίνει τη διατήρηση ενός επαρκούς επιπέδου των υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών του πληθυσμού·

- αυξανόμενο κόστος ιατρικών υπηρεσιών, που επηρεάζουν ιδιαίτερα τους ασθενείς με χρόνιες ασθένειες. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ που το 2016 το κόστος της φροντίδας του διαβήτη ήταν 245 εκατομμύρια δολάρια, αυξήθηκε κατά 21% σε 9 χρόνια. (Yang, W., et al., 2013)

Τα παραπάνω προβλήματα μπορούν να λυθούν με την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και προσεγγίσεων για τη θεραπεία των ασθενών. Για παράδειγμα, σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως η διαδικασία κατά την οποία η κλινική και οι γιατροί βρίσκονται στο επίκεντρο της διαδικασίας, ενώ οι ασθενείς δεν έχουν ενεργό ρόλο στη θεραπεία τους. Ωστόσο, επιτρέποντας στους ασθενείς να αναλάβουν ενεργό ρόλο στην παρακολούθηση και τη διαχείριση της υγείας τους είναι δυνατόν να επιτευχθεί η αποκέντρωση της υγειονομικής περίθαλψης, (Qudah, B. and Luetsch, K., 2019), η μείωση του φόρτου εργασίας που επιβαρύνει στην εποχή μας τους γιατρούς και αύξηση της αποτελεσματικότητας της παρεχόμενης θεραπείας.

5.4. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ SMART HEALTHCARE

Η εφαρμογή των «Digital Twins» σήμερα μπορεί να σημειωθεί ως μία από τις πιο εντυπωσιακές τάσεις στην ψηφιοποίηση διαφόρων βιομηχανιών. Ξεκίνησε από τον τομέα της αεροδιαστημικής, και σήμερα προωθείται ενεργά για την επίλυση προβλημάτων στη βιομηχανία και τη διαχείριση σύνθετων συστημάτων (όπως οι «Έξυπνες πόλεις»). Σε αυτές τις περιοχές, η έννοια του Digital Twin είναι αρκετά εδραιωμένη. Μεταξύ άλλων, μας επέτρεψε να διαχωρίσουμε τις έννοιες του ψηφιακού μοντέλου, της ψηφιακής σκιάς και του ψηφιακού δίδυμου, η διαφορά μεταξύ των οποίων έγκειται στον βαθμό στον οποίο η αυτοματοποίηση δεδομένων και ελέγχου παρέχουν ροές μεταξύ ενός φυσικού αντικειμένου (συστήματος) και του Digital Twin (Kritzinger, W., et al., 2018), (Alaasam, A.B., et al., 2020)

Αυτή η προσέγγιση του ορισμού είναι δικαιολογημένη, επειδή η χρήση των Τεχνολογιών του Internet of Things, οι νέες προσεγγίσεις στην οργάνωση της μεταφοράς δεδομένων και η παροχή ελέγχου σε πραγματικό χρόνο οδηγούν στο γεγονός ότι είναι δυνατό να παρέχουν συγχρονισμό της κατάστασης του φυσικού και ψηφιακού δίδυμου σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η ανάπτυξη, βέβαια, ενός Ψηφιακού δίδυμου μπορεί να είναι μια πολύ περίπλοκη και δαπανηρή εργασία, ενώ

είναι δυνατό να αυξάνεται επιπλέον η πολυπλοκότητα της παρακολούθησης της υγείας του ασθενούς στο νοσοκομείο. (Voigt, I., et al., 2021). Επομένως, η έρευνα που σχετίζεται με τα ψηφιακά δίδυμα πρέπει να καθορίσει ποια δεδομένα συμβάλλουν περισσότερο στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων, πώς μπορούν να αξιολογηθούν αυτά τα αποτελέσματα και πώς μπορεί να είναι αυτή η προσέγγιση οικονομικά συμφέρουσα στην υγειονομική περίθαλψη. Τελικά, όμως, όταν τα ψηφιακά δίδυμα εφαρμοστούν επαρκώς μπορούν να βελτιώσουν τις ικανότητες διάγνωσης και παρακολούθησης των ασθενών, καθώς και να συμβάλλουν στη βελτίωση της θεραπείας και της κατάστασης του ασθενούς, όπως επίσης και στη μείωση του οικονομικού κόστους και στην επέκταση των επιλογών θεραπείας, αλλά και των επιλογών που μπορεί να έχουν οι ασθενείς.

Ωστόσο, στην υγειονομική περίθαλψη, τα ψηφιακά δίδυμα δεν είναι ακόμα καθορισμένα με ακρίβεια λόγω της πολυπλοκότητας του ανθρώπινου οργανισμού, ενός τόσο περίπλοκου φυσικού αντικειμένου για το οποίο πρέπει να δημιουργηθεί το ψηφιακό του δίδυμο. Όσον αφορά τα εξαρτήματα των βιομηχανικών συστημάτων σήμερα, υπάρχει ελπίδα ότι η μοντελοποίηση θα προσφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα, αν και είναι πολύ δύσκολο να διαμορφωθεί ένα καθολικό μοντέλο του ανθρώπινου οργανισμού. Επίσης, παρά τις πρωτοποριακές ανακαλύψεις νέων αισθητήρων και μεθόδων για τη συλλογή δεδομένων και τη λήψη ενημερωμένων δεδομένων για βασικούς δείκτες του ανθρώπινου σώματος σε κατάσταση λειτουργίας, είναι ένα δύσκολο έργο, το οποίο μπορεί να υλοποιηθεί, τις περισσότερες φορές, μόνο σε εργαστηριακά κλινικά ερευνητικά περιβάλλοντα.

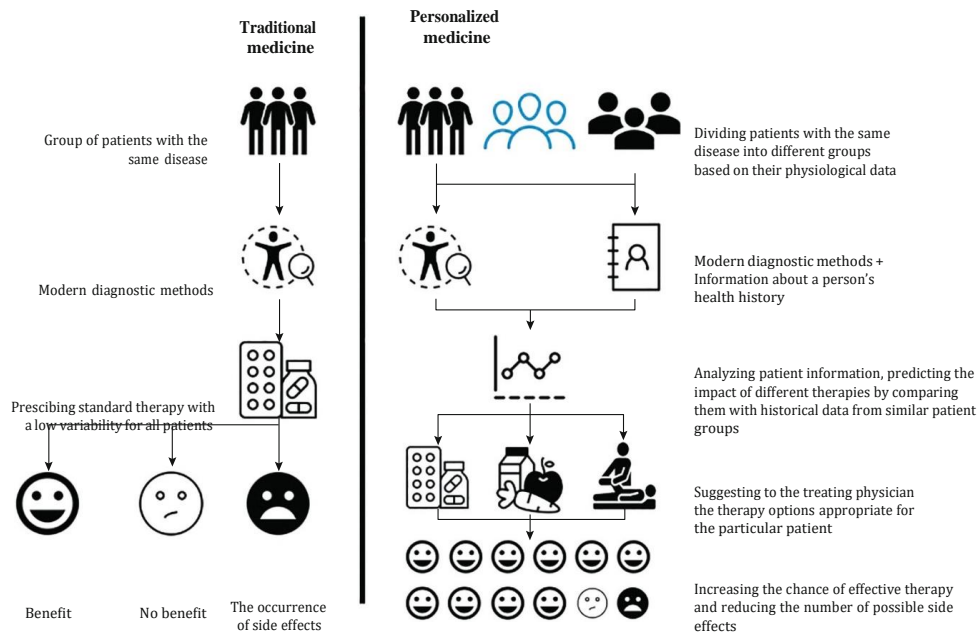
5.5. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ

Από τις πιο δημοφιλείς προσεγγίσεις στην έξυπνη υγειονομική περίθαλψη είναι η εξατομίκευση, η συνεχής παρακολούθηση της υγείας, η τηλεϊατρική και η πρόληψη ασθενειών.

Εξατομίκευση

Η απόδοση της ασθένειας σε έναν αιτιολογικό παράγοντα είναι υπερβολικά απλοϊκή. Η ανάπτυξη της νόσου μπορεί να προβλεπόταν καλύτερα με την κατανόηση ότι κάθε άτομο έχει μια αρχική

ευαισθησία σε διάφορες ασθένειες και ότι η υγεία του ατόμου επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες. (Snyderman, R., 2012). Ενώ οι προηγούμενες προσεγγίσεις στην ιατρική ήταν στατικές και εστιασμένες στην απαλλαγή από τις επιπτώσεις μιας ασθένειας, οι νέες προσεγγίσεις είναι δυναμικές και θεωρούν ότι οι ασθένειες αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου, ενώ η ανταπόκριση στα φάρμακα μπορεί να εξατομικευτεί.



Σχήμα 4: Comparison of traditional and personalized medicine.

Εξαιτίας αυτού, η επιλογή της θεραπευτικής προσέγγισης και η παρακολούθηση των ασθενών μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, ανάλογα με το σώμα του ασθενούς, τις αντιδράσεις του σε φάρμακα, το ιατρικό του ιστορικό και τις φυσιολογικές του παραμέτρους. Χάρη στη σύγχρονη τεχνολογία, τα δεδομένα υγείας του καθενός μπορούν να συλλεχθούν, να αποθηκευτούν, να αναλυθούν και να συγκριθούν με δεδομένα άλλων ασθενών. Με τη σωστή χρήση της τεχνολογίας, δε θα χρειαστεί μακροχρόνια ανάλυση της ανταπόκρισης ενός ασθενούς στη θεραπεία που του εφαρμόζεται, καθώς θα μπορεί το σύστημα να επιλέξει φάρμακα, δοσολογίες και σχέδια θεραπείας σχεδόν αμέσως, εστιάζοντας σε πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με έναν συγκεκριμένο ασθενή. (ELPP 2016)

Για παράδειγμα, εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης του IBM Watson (αμερικανική εταιρεία ιατρικής τεχνολογίας) για βοήθεια στους γιατρούς που παρακολουθούν ασθενείς με καρκίνο. (Ahmed, M.N., et al., 2017)

Οι κλινικές δοκιμές είναι υπεύθυνες για πολλές ιατρικές εξελίξεις στην πρόληψη, την ανίχνευση και τη θεραπεία του καρκίνου. Ωστόσο, όπως δεν υπάρχουν δύο όμοια άτομα, έτσι δεν υπάρχουν δύο όμοιες ασθένειες καρκίνου. Επί του παρόντος, οι συντονιστές αναλύουν κατά μέσο όρο 46 κριτήρια για επιλογή ασθενών για δοκιμές. Αυτό το εκτεταμένο φάσμα δεδομένων, το οποίο απαιτεί ανάλυση και σύγκριση με κάθε ασθενή, καθιστά δύσκολη την ολοκλήρωση αυτού του στόχου χωρίς προηγμένες αναλυτικές ικανότητες. Με την IBM Watson, ο γιατρός μπορεί να αυτοματοποιήσει τη διαδικασία ανάλυσης παρέχοντας στο σύστημα πληροφορίες για την υγεία του ασθενούς. Η IBM Watson αναλύει δεδομένα ασθενών, συγκρίνοντας τα δεδομένα ασθενών σε βάσεις δεδομένων κλινικών δοκιμών, και προσφέρει στον ιατρό επιλογές για συγκεκριμένες κλινικές δοκιμές κατάλληλες για τον ασθενή.

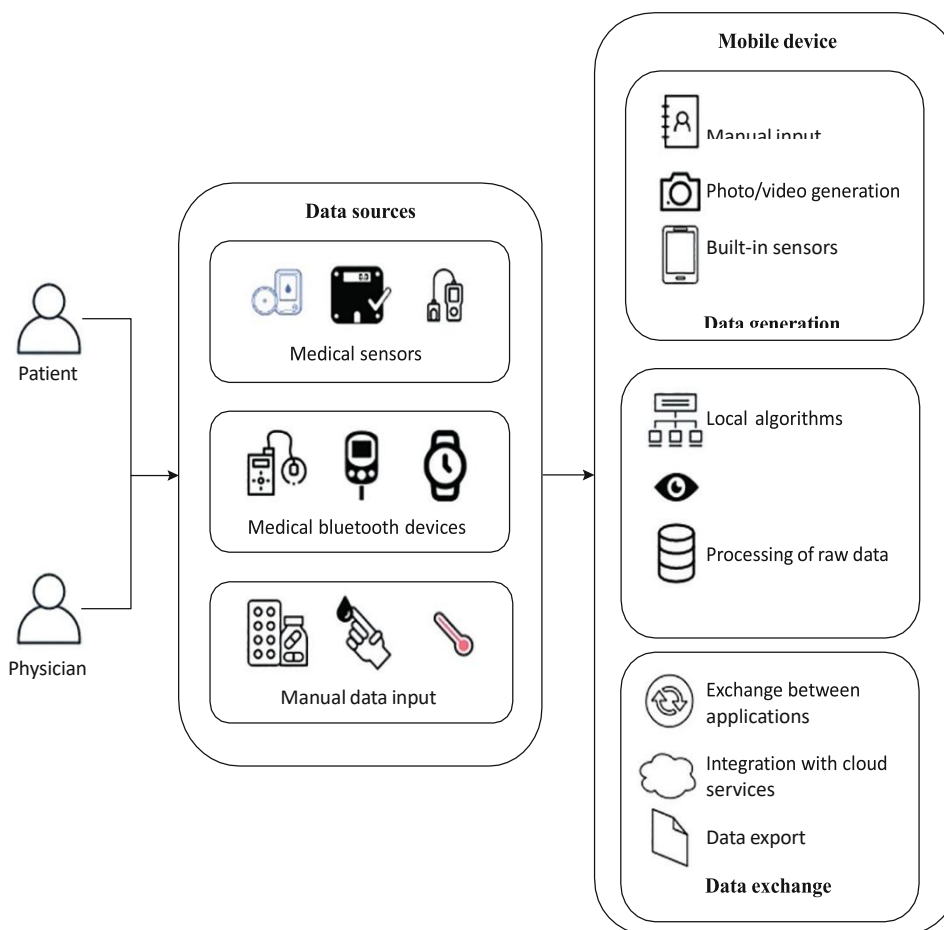
Ωστόσο, η τάση της εξατομικευμένης ιατρικής στην υγειονομική περίθαλψη είναι μια σχετικά νέα προσέγγιση, που μελετήθηκε και αναπτύχθηκε χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας των πληροφοριών και την εμφάνιση έξυπνων συσκευών, τα τελευταία χρόνια. Σε πολλές μελέτες επισημαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα της εξατομικεύσης δεν έχει ακόμη μελετηθεί επαρκώς. (Joyner, M.J. and Paneth, N., 2015). Σε πραγματικά σενάρια, όμως, μια εξατομικευμένη προσέγγιση μπορεί να μη βελτιώσει αποτελεσματικά την πρόβλεψη κινδύνου, να μειώσει το κόστος και να βελτιώσει τη δημόσια υγεία για κοινές ασθένειες, όπως παρουσιάζεται στα ερευνητικά άρθρα.

Επισημαίνεται, μάλιστα, ότι οι αποφάσεις που βασίζονται στα δεδομένα πρέπει να ρυθμίζονται καλύτερα γιατί εγείρουν εν μέρει μη ρεαλιστικές προσδοκίες και ανησυχίες. (Frühlich, H., 2018). Υπογραμμίζεται, επίσης, η ανάγκη βελτίωσης των υπολογιστικών μεθόδων με σκοπό την παροχή μετρήσιμων οφελών στην κλινική πρακτική.

5.6. ΚΙΝΗΤΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

Η κινητή ιατρική σήμερα είναι μια από τις σημαντικές προσεγγίσεις για την επίλυση των προκλήσεων της Έξυπνης Υγείας. Σήμερα υπάρχει πλήθος μελετών για την υγεία μέσω των κινητών (mHealth – Mobile Medicine) (Free, C., et al., 2013) που επικεντρώθηκαν στη χρήση της τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας για την παρακολούθηση της υγείας και τη συνεχή επιρροή της στην κατάσταση του ασθενούς.

Η κινητή ιατρική περιλαμβάνει τεχνολογίες που σχετίζονται με κινητές εφαρμογές και τεχνολογίες του Διαδικτύου των πραγμάτων, περιφερειακές συσκευές, μηχανική όραση (computer vision) και τηλεϊατρική.



Σχήμα 5: Mobile medicine data sources and critical components.

Η κινητή ιατρική περιλαμβάνει πολλούς τομείς ανάπτυξης, μεταξύ των οποίων μπορούν να σημειωθούν οι ακόλουθοι: (Steinhubl, S.R., et al., 2015).

– Φορητοί αισθητήρες – βραχιόλια, ρολόγια, κορδέλες, patches, ακουστικά και ρούχα που παρέχουν παθητική και συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης ενός ατόμου και των βιομετρικών δεικτών του.

– on-chip laboratories (πλήρης ανάλυση microsystems): είναι μικροσκοπικά όργανα που επιτρέπουν μία ή περισσότερες πολυσταδιακές (βιο) χημικές διεργασίες σε ένα μόνο τσιπ με εμβαδόν που κυμαίνεται από λίγα mm² σε αρκετά cm² και χρήση μικρο- ή νανο-σκοπικών ποσοτήτων δειγμάτων για προετοιμασία δειγμάτων και αντιδράσεις.

– έξυπνη ανάλυση εικόνας - η υψηλή ποιότητα από κάμερες smartphone κατέστησαν δυνατή τη χρήση τους για φωτομετρικά διαγνωστικά με ή και χωρίς πρόσθετες συσκευές (για παράδειγμα, αναγνώριση μόλυνσης του αυτιού με χρήση ωτοσκοπίου).

5.7. ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΓΕΙΑΣ

Ο αυξανόμενος αριθμός και η ποικιλία των φορητών συσκευών, καθώς και η σταδιακή μείωση του κόστους τους, διευκολύνουν την ενσωμάτωσή τους για την παρακολούθηση της υγείας του ασθενούς. Έτσι, η κινητή ιατρική αποτελεί ένα βασικό στοιχείο για την εφαρμογή της συνεχούς παρακολούθησης της υγείας, που προσφέρει νέες δυνατότητες σε γιατρούς, ασθενείς, και ερευνητές. Το "Internet of Medical Things" (IoMT) καθίσταται μια ξεχωριστή κατηγορία του Διαδικτύου των Πραγμάτων, το ιδιαίτερο ξεχωριστό χαρακτηριστικό του οποίου είναι η χρήση αισθητήρων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της υγείας των ασθενών. (Mastoi, Q.U.A., et al., 2020). Τέτοιοι αισθητήρες επιτρέπουν τη συλλογή και επεξεργασία κρίσιμων βιομετρικών δεδομένων για την υγεία ενός ατόμου σε πραγματικό χρόνο.

Η κορυφαία σύγχρονη τεχνολογία διευρύνει την ανάπτυξη του πεδίου της παρακολούθησης της υγείας με τη δυνατότητα μαζικής εφαρμογής του μέσω διακριτικών συσκευών ανίχνευσης και

φορητών συσκευών. (Case study: Post-Traumatic Stress (PTSD) – Open mHealth. <https://www.openmhealth.org/features/case-studies/case-study-post-traumatic-stress-ptsd/>). Οι περισσότεροι κοινώς μετρούμενες παράμετροι από αυτές τις συσκευές περιλαμβάνουν:

- ΗΚΓ (Ηλεκτοκαρδιογράφημα)
- Βαλιστακαρδιογράφημα (BCG)
- παλμός καρδιάς
- αρτηριακή πίεση
- κορεσμός οξυγόνου του αίματος (SpO2)
- επίπεδα γλυκόζης στο αίμα
- θερμοκρασία σώματος
- στάση του σώματος
- σωματική δραστηριότητα.

Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των ιατρικών συσκευών έγκειται στη δυνατότητα ενσωμάτωσής τους στην καθημερινή ζωή του χρήστη, έτσι ώστε αυτές οι συσκευές να μη διαταράσσουν την κανονική καθημερινή ρουτίνα του ατόμου, αλλά να του προσφέρουν οφέλη εμφανίζοντας λεπτομερείς πληροφορίες για διάφορες πτυχές της υγείας του στην οθόνη της κινητής του συσκευής. Μια τέτοια προσέγγιση καθιστά δυνατή τη συλλογή και αποθήκευση σημαντικών δεδομένων σχετικά με την υγεία ενός ατόμου σε μια μακρά περίοδο αυτόνομα και τακτικά, την ανάλυση των συλλεγμένων δεδομένων και τη σύγκριση με τα δεδομένα άλλων ασθενών με σκοπό την παροχή βοήθειας στους γιατρούς για τη λήψη γρήγορων αποφάσεων με βάση τους τρέχοντες δείκτες υγείας.

Στα πλαίσια αυτής της προσέγγισης προτείνεται η παρακολούθηση της καθημερινής ρουτίνας και της συμπεριφοράς των ηλικιωμένων για τον εντοπισμό ανώμαλης συμπεριφοράς χωρίς άμεση παρέμβαση στη ζωή τους. Μια τέτοια λύση θα μπορούσε να βοηθήσει στη φροντίδα ενηλίκων μεγαλύτερης ηλικίας που ζουν μόνοι με άνοια ή νόσο Alzheimer. (Meng, et al., 2017)

5.8. ΤΗΛΕΪΑΤΡΙΚΗ

Η πρόοδος στην τεχνολογία της επικοινωνίας προσφέρει σε γιατρούς και ασθενείς νέες ευκαιρίες αλληλεπίδρασης. Για παράδειγμα, η τηλεϊατρική μπορεί να πραγματοποιηθεί η ίδια ως απομακρυσμένη βιντεοδιάσκεψη σε πραγματικό χρόνο με ασθενή ή ως δυνατότητα άμεσης ανταλλαγής κειμένου ή μέσω πληροφόρησης με στόχο την ενημέρωση σχετικά με την υγεία ενός ατόμου. Η τηλεϊατρική μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη φυσικής παρουσίας του γιατρού και του ασθενούς στο ίδιο μέρος για την οργάνωση της διαδικασίας της θεραπείας, προσφέροντας πολλά πλεονεκτήματα.

Αρχικά, οι γιατροί μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες από τους ασθενείς σχετικά με την υγεία τους πολύ πιο γρήγορα και πιο εύκολα και να παρέχουν στον ασθενή ανατροφοδότηση σχετικά με την κατάσταση της υγείας τους και πιθανές αλλαγές που πρέπει να επιφέρουν στη θεραπεία τους.

Αυτές οι τεχνολογίες είναι σημαντικές όταν εφαρμόζονται σε ασθενείς με χρόνιες παθήσεις που χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση ή ασθενείς που βρίσκονται σε απομακρυσμένα μέρη και δυσκολεύονται να επισκεφτούν γρήγορα και με ασφάλεια το γιατρό για συμβουλές ή προσαρμογή θεραπείας. Η ενσωμάτωση της τηλεϊατρικής στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης μπορεί έχει ως αποτέλεσμα: πιθανή μείωση του κόστους για τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, αυξημένη ικανοποίηση των ασθενών από τη διαδικασία της θεραπείας, χαμηλότερο κόστος ασθενών με χρόνιες παθήσεις (όπως π.χ. καρδιακές παθήσεις, διαβήτη, αναπνευστικές παθήσεις ή καρκίνο). (Albahri, O.S., et al., 2018).

Ένας σημαντικός τομέας που αναπτύσσεται στην τηλεϊατρική σήμερα είναι η χρήση τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας (VR). Το 2009, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα μιας μελέτης σχετικά με τη χρήση της τεχνολογίας VR για αποκατάσταση εγκεφαλικού, στην οποία οι ασθενείς χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα υποβλήθηκε σε αποκατάσταση εξ αποστάσεως υπό τον έλεγχο ενός γιατρού με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας, ενώ η δεύτερη ομάδα υποβλήθηκε σε αποκατάσταση σε τοπικό νοσοκομείο. Στο τέλος της μελέτης, δε βρέθηκε

σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων, κάτι που δείχνει την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας. (Piron, L., et al., 2009)

Επιπλέον, έχουν διεξαχθεί μελέτες σχετικά με τη χρήση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας (AR). Για παράδειγμα, προτείνεται μια τεχνολογία που επιτρέπει στους γιατρούς σε απομακρυσμένες τοποθεσίες να εκπαιδεύονται για πολύπλοκες ιατρικές διαδικασίες, όπως το υπερηχογράφημα, χωρίς οπτική παρέμβαση. Οι κινήσεις του χεριού του μέντορα καταγράφονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Leap Motion και απεικονίζεται εικονικά στον χώρο του ασκούμενου με Γυαλιά HoloLens (Wang, et al., 2017)

5.9. ΠΡΟΛΗΨΗ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ

Χάρη στην ευρεία εισαγωγή των κινητών συσκευών και των φορητών αισθητήρων, οι χρήστες είναι σε θέση να γνωρίζουν εάν είναι πιθανό να αρρωστήσουν. Ένα σχετικό παράδειγμα που θα μπορούσε να αναφερθεί είναι τα συστήματα ειδοποιήσεων που αναπτύχθηκαν από την Apple και την Google σχετικά με τις επαφές με άτομα που είχαν μολυνθεί από τον ιό COVID-19. Η παρουσία του κινητού τηλεφώνου στη συντριπτική πλειοψηφία του πληθυσμού επιτρέπει στις συσκευές τη συλλογή και αποθήκευση πληροφοριών ανώνυμα σχετικά με τη διάρκεια και τον αριθμό των επαφών ενός χρήστη με άλλους ανθρώπους. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να ειδοποιεί ανώνυμα όλα τα άλλα άτομα που είχαν επαφή μαζί τους για τον πιθανό κίνδυνο να προσβληθούν από τη νόσο εάν ένας από τους χρήστες βρεθεί θετικός στη νόσο. (Privacy-Preserving Contact Tracing – Apple and Google. <https://covid19.apple.com/contacttracing>, 2020.)

Εκτός από την ανίχνευση μόλυνσης μέσω ανίχνευσης των επαφών, η σύγχρονη τεχνολογία καθιστά δυνατή την ανάλυση της κατάστασης της υγείας ενός ατόμου και την πρόβλεψη της ανάπτυξης ασθενειών με βάση ιστορικά δεδομένα για τους βιοϊατρικούς δείκτες του ατόμου και συγκρίνοντάς τα με τα ιστορικά δεδομένα όλων των άλλων χρηστών. Έτσι, το σύστημα μπορεί να εκπαιδευτεί για να ανιχνεύει αποκλίσεις από τους τυπικούς ανθρώπινους δείκτες και να υποθέσει την αιτία αυτών των αλλαγών και την πιθανή περαιτέρω ανάπτυξή τους.

Για παράδειγμα, προτείνεται αλγόριθμος μηχανικής μάθησης, η υλοποίηση του οποίου επιτρέπει την επίτευξη ακρίβειας 94,8% στην πρόβλεψη του κινδύνου ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου για έναν ασθενή που παρατηρήθηκε σε νοσοκομείο. (Chen, M., et al., 2017)

Ένα άλλο παράδειγμα κινητής ιατρικής για την πρόβλεψη ασθενειών είναι ο προτεινόμενος αλγόριθμος νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιεί ηχογραφήσεις φωνής για να προσδιορίσει αν ένας ασθενής έχει τη νόσο του Πάρκινσον με 100% ακρίβεια. (Sadek, R.M., et al., 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6.1. ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΥΓΕΙΑΣ

Οι φορητές συσκευές είναι ένας από τους κύριους τρόπους για εύκολη συλλογή δεδομένων σχετικά με την κατάσταση ενός χρήστη χρησιμοποιώντας τις εφαρμογές του κινητού. Σήμερα, πολλές εφαρμογές συλλέγουν πληροφορίες για σχεδόν οποιαδήποτε ασθένεια εισάγοντας με μη αυτόματο τρόπο δεδομένα από το χρήστη ή παρέχουν την ανάγνωση δεδομένων από αισθητήρες.

Για την κατανόηση της χρήσης της τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας στην υγειονομική περίθαλψη με αποτελεσματικό τρόπο, κρίνεται σκόπιμο να επιχειρηθεί μια παρουσίαση των υπάρχοντων προβλημάτων σε αυτόν τον τομέα, των πιθανών περιπτώσεων χρήσης αυτών των τεχνολογιών και των υπάρχουσών εμπορικών λύσεων.

6.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Οι βιοϊατρικοί αισθητήρες είναι πλέον διαδεδομένοι κυρίως ως off-the-shelf συσκευές συνδεδεμένες σε μια εφαρμογή σε φορητή συσκευή μέσω Bluetooth ή Wi-Fi. Σήμερα, τα δεδομένα που συλλέγονται από τέτοιες συσκευές περιορίζονται στους τύπους των δεικτών, όπως ο καρδιακός παλμός, η σωματική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την ποιότητα του ύπνου.

Μέχρι τώρα, η ποικιλία των δεδομένων που συλλέγεται από τις φορητές συσκευές δεν μπορεί να προσφέρει σε ικανοποιητικό βαθμό και με επαρκείς λεπτομέρειες πληροφορίες για την ανθρώπινη υγεία και ως εκ τούτου ακριβείς ερμηνείες.

Το 2016, οι γιατροί έσωσαν τη ζωή ενός άνδρα με τη βοήθεια της κινητής ιατρικής. Όταν ένας 42χρονος άνδρας εισήχθη στο νοσοκομείο με επιληπτική κρίση, οι γιατροί εξέτασαν τις πληροφορίες του Fitbit Charge HR fitness tracker και έλαβαν σημαντικές αποφάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος υγείας του και τη μελλοντική θεραπεία του. (Rudner, J., et al.,2016)

Όμως, αν και υπήρξαν τεκμηριωμένες περιπτώσεις όπου οι φορητές συσκευές έχουν βοηθήσει να σωθεί η ζωή ενός ατόμου απαιτείται η συλλογή πιο συγκεκριμένων δεδομένων για λεπτομερέστερη ανάλυση της κατάστασης της υγείας ενός ατόμου.

Το κύριο πρόβλημα που εμποδίζει τη μαζική υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών είναι η παραγωγή, η προώθηση και η εφαρμογή αισθητήρων μαζικής αγοράς. Από τη μια πλευρά, τέτοιοι αισθητήρες θα πρέπει να είναι προσιτοί και βολικοί για τον ασθενή, ώστε να τους φοράει ανά πάσα στιγμή, ενώ από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να λειτουργούν αρκετά καλά, ώστε να εξασφαλίζουν την αξιόπιστη συλλογή και μεταβίβαση των δεδομένων για επεξεργασία σε φορητές συσκευές ή υπηρεσίες cloud.

Σήμερα, δεν υπάρχει ενιαία προσέγγιση στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τέτοιους αισθητήρες, καθώς κάθε αισθητήρας απαιτεί την ανάπτυξη της εφαρμογής ή της διαδικτυακής υπηρεσίας της, η οποία θα είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάθε προγραμματιστής να δημιουργεί τις δικές του εφαρμογές ή διαδικτυακές υπηρεσίες για την επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων. Έτσι, οι χρήστες διαθέτουν απλούς μηχανισμούς που να επιτρέπουν τη συγχώνευση και την κεντρική διαχείριση δεδομένων από διαφορετικούς πωλητές.

Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι οι φορητές συσκευές μπορεί να συγκεντρώσουν ένα σημαντικό όγκο πληροφοριών, πολλά GB σε μία ημέρα από μία μόνο συσκευή. (Farahani, et al., 2018). Εννοείται, φυσικά, ότι δεν πρέπει να μεταδίδονται όλα τα δεδομένα που δημιουργούνται μέσω του δικτύου σε ακατέργαστη μορφή. Όμως η αύξηση του αριθμού των φορητών συσκευών και των πληροφοριών που συλλέγουν οδηγεί στην ανάγκη για μια κατάλληλη αρχιτεκτονική δικτύου, η οποία θα είναι σε θέση να διαβιβάζει σταθερά, αξιόπιστα και έγκαιρα τα δεδομένα που λαμβάνονται στα ενδιαφερόμενα μέρη.

6.3. ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΣΘΕΝΕΙΣ ΜΕ ΧΡΟΝΙΕΣ ΠΑΘΗΣΕΙΣ

Οι ασθενείς με χρόνια καρδιοπάθεια απαιτούν συνεχή παρακολούθηση της κατάστασής τους για την πρόληψη κρίσιμων καταστάσεων πριν συμβούν. Σύμφωνα με τις στατιστικές του ΠΟΥ, περίπου 230 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν καρδιακά προβλήματα, και μέχρι και 3 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν από αυτά τα προβλήματα κάθε χρόνο. (Kritzinger, W., et al., 2018). Οι τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων μπορούν να απλοποιήσουν και να επιταχύνουν σημαντικά τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την κατάσταση της καρδιάς του ασθενούς, να μεταδώσουν αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στον γιατρό και να τα αναλύσουν. (Mastoi, Q.U.A., et al., 2020,)

Μεγάλες εταιρείες ασχολούνται τώρα με αυτό πρόβλημα. Για παράδειγμα, το 2019, η Apple κυκλοφόρησε το Apple Watch Series 4, που επιτρέπει ΗΚΓ σε πραγματικό χρόνο, παρακολούθηση της καρδιάς και διαβίβαση των ειδοποιήσεων σχετικά με τις ανωμαλίες της υγείας των χρηστών που έχουν εντοπιστεί και πρέπει να αντιμετωπιστούν. (Taking an ECG with the ECG app on Apple Watch Series 4, Series 5, or Series 6 – Apple Support. <https://support.apple.com/en-us/HT208955>. Cited 14.10.2020)

Άλλη μια ασθένεια που απαιτεί συνεχή παρακολούθηση είναι ο σακχαρώδης διαβήτης. Τα άτομα με αυτή την ασθένεια πρέπει να παρακολουθούν τα ιατρικά και διατροφικά τους αρχεία, καταγράφοντας αυτά τα δεδομένα περίπου δέκα φορές την ημέρα κατά μέσο όρο. Για την επίλυση του προβλήματος της συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων του διαβήτη, ορισμένες συσκευές μπορούν να αποθηκεύσουν αυτόματα και να συγχρονίσουν δεδομένα, όπως τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα.

Τέτοιες συσκευές μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες:

- μετρητές γλυκόζης, με δυνατότητα συγχρονισμού δεδομένων με το κινητό τηλέφωνο.
- συστήματα συνεχούς παρακολούθησης των επιπέδων του σακχάρου στο αίμα με την εμφάνιση αυτών των πληροφοριών στη συσκευή και με τη δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων σε έναν υπολογιστή.

– ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης του επιπέδου σακχάρου που μπορεί να διαβάσει τα δεδομένα μέσω του τσιπ NFC (near field communication: επικοινωνία κοντινού πεδίου) στην ίδια τη συσκευή ή στο κινητό τηλέφωνο.

Αυτά τα συστήματα μπορούν να διευκολύνουν σημαντικά τη συλλογή δεδομένων για τα επίπεδα σακχάρου του χρήστη, σύμφωνα με μελέτη. (Group T.J.D.R.F.C.G.M.S, 2008). Έτσι συμβάλλουν στην αντιστάθμιση των επιπέδων του διαβήτη του ασθενούς με στόχο την επίτευξη πιο σταθερών επιπέδων σακχάρου στο αίμα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη μελέτη, επειδή το μέσο επίπεδο σακχάρου έφτασε πιο κοντά στο επίπεδο στόχου στους ασθενείς που συμμετείχαν στη μελέτη από ό,τι πριν ξεκινήσει η μελέτη.

Ορισμένες συσκευές μπορούν επίσης να αναλύσουν πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα ενός ατόμου και την πρόσληψη υδατανθράκων παρέχοντας στον ασθενή τη δυνατότητα αυτόνομης διόρθωσης των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα με αυτόματη έγχυση ινσουλίνη με ενέσεις. (Wearable device for blood glucose level automatic diagnostics and correction in diabetic blood was created. iCover.ru company blog. <https://habr.com/ru/company/icover/blog/392085/>). Τέτοιες τεχνολογίες είναι ακόμη υπό εξέλιξη, αλλά η ανάπτυξη τέτοιων έργων υποδεικνύει την παρουσία της έρευνας στον τομέα αυτό και τη δυνατότητα περαιτέρω ενσωμάτωσης της κινητής ιατρικής και του IoT στις μελλοντικές εξελίξεις.

6.4. ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Σε μια παρουσίαση στις 21 Μαρτίου 2016, η Apple ανακοίνωσε δύο πλατφόρμες: ResearchKit2 και CareKit3. Το ResearchKit παρέχει ένα API για τη συλλογή ιατρικών δεικτών ασθενών με διάφορες ασθένειες. Ο σκοπός της πλατφόρμας είναι να συγκεντρώσει και να αναλύσει δεδομένα από εξειδικευμένα ερευνητικά ιδρύματα ασθενειών. Για παράδειγμα, αυτή η πλατφόρμα βρίσκεται ήδη στη διαδικασία συλλογής πληροφοριών για άτομα με νόσο του Πάρκινσον, στην οποία έχουν συμμετάσχει 9.520 άτομα και συμφώνησαν να γίνει χρήση των μετρήσεων τους. (Bot, B.M., et al., 2016)

Από την άλλη πλευρά, η αυξανόμενη επιθυμία των ανθρώπων να κοινοποιούν τα δεδομένα τους, συμπεριλαμβανομένων των ιατρικών δεδομένων, μπορεί να επιφέρει απρόβλεπτες συνέπειες και είναι εξαιρετικά επικίνδυνο. Πριν από την έλευση της κινητής τεχνολογίας, ήταν αδύνατο να συλλέγονται τόσο εύκολα καθημερινές πληροφορίες για την υγεία του ασθενούς. Υπάρχει, όμως, ο κίνδυνος να μη χρησιμοποιηθεί η φόρμα mHealth για τους σκοπούς που καθορίστηκαν από τους δημιουργούς της. (Jardine, J., et al.,2015). Επομένως, τα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω τεχνολογίας και οι ευκαιρίες που παρέχονται πρέπει να αντιμετωπίζονται με μεγάλη προσοχή.

Η δεύτερη πλατφόρμα, το CareKit, είναι ένα πλαίσιο που συμβάλλει στην ανάπτυξη εφαρμογών που βοηθούν τους χρήστες να παρακολουθούν την υγεία τους. Επιτρέπει επίσης στους προγραμματιστές να απλοποιήσουν την ανάπτυξη εφαρμογών που βοηθούν στη συλλογή δεδομένων της υγείας των χρηστών για κλινική έρευνα.

Δεδομένου του αυξανόμενου όγκου δεδομένων που συλλέγονται μέσω αισθητήρων και χειροκίνητων καταχωρήσεων από τον χρήστη, εμφανίζεται η ανάγκη για μια υπηρεσία που να μπορεί να συγκεντρώσει όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται από διαφορετικές υπηρεσίες σε ένα μέρος για μεταγενέστερη ανάλυση. Ως λύση σε αυτό το πρόβλημα, η Apple έχει αναπτύξει την υπηρεσία Apple Health, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να αποθηκεύουν δεδομένα που λαμβάνονται μέσω αισθητήρων στις Apple συσκευές τους και επιτρέπει στους προγραμματιστές να συγχρονίζουν τα δεδομένα των χρηστών που λαμβάνονται από εφαρμογές ή συσκευές τρίτων από την Apple Health.

Ωστόσο, αυτή η λύση επιβάλλει περιορισμούς στην επιλογή smartphones και φορητών συσκευών που χρησιμοποιούν οι χρήστες και δεν επιτρέπει την πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στα δεδομένα για θεράποντες ιατρούς ή συγγενείς. Για το λόγο αυτό προτείνεται η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος που θα παρέχει βοήθεια σε όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς:

- ασθενείς που θα εισάγουν δεδομένα για την υγεία τους και τον τρόπο ζωής τους
- ιατρικό προσωπικό
- ιατρικούς ερευνητές που οργανώνουν μελέτες οι οποίες απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων από μια ποικιλία συμμετεχόντων.

6.5. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΩΝ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Η επισκόπηση των διαθέσιμων πλατφορμών πραγματοποιήθηκε με βάση τα ακόλουθα σημεία:

- αν η τεκμηρίωση του έργου είναι δωρεάν διαθέσιμη·
- αν το έργο έχει πραγματικά παραδείγματα χρήσης·
- αν το έργο δεν εστιάζει στη διατήρηση δεδομένων σε μια συγκεκριμένη ασθένεια αλλά στην παρακολούθηση της συνολικής υγείας του ατόμου.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τις διαφορές στις υπάρχουσες πλατφόρμες κινητής ιατρικής και στην έξυπνη υγειονομική περίθαλψη (Smart Healthcare), η σύγκριση με τις επί του παρόντος διαθέσιμες λύσεις έγινε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Διάρκεια ζωής πλατφόρμας.
- Διαθεσιμότητα εφαρμογής Native AppStore.
- Διαθεσιμότητα εγγενούς εφαρμογής Google Play.
- Διαθεσιμότητα iOS SDK.
- Διαθεσιμότητα Android SDK.
- API από την πλευρά του διακομιστή – εάν το επιτρέπει η πλατφόρμα να λάβει, να στείλει και να επεξεργαστεί τα δεδομένα που περιέχει μέσω οποιουδήποτε πρωτοκόλλου ανταλλαγής δεδομένων από άλλη διαδικτυακή εφαρμογή.
- Διασύνδεση Ιστού – η δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων μέσω εγγενούς διεπαφής του ιστού της πλατφόρμας.
- Κοινωνική χρήση – εάν η πλατφόρμα διαθέτει τη δυνατότητα κοινής χρήσης ιατρικών δεδομένων με άλλα άτομα.
- Αριθμός τύπων δεδομένων υγείας που παρακολουθούνται μέσω της πλατφόρμας.
- Δυνατότητα προσαρμογής/εξατομίκευσης τύπων δεδομένων – εάν η πλατφόρμα επιτρέπει τη διαμόρφωση τύπων δεδομένων που δεν παρέχονται αρχικά από τον προγραμματιστή.

– Μέθοδος συγχρονισμού δεδομένων – τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό των δεδομένων.

– Κοινή χρήση δεδομένων από μέλη της οικογένειας ή γιατρούς – αν έχει υλοποιηθεί τουλάχιστον μία ευκαιρία κοινής χρήσης δεδομένων εκτός από τη δημιουργία στιγμιότυπου οθόνης.

– Απαιτήση αυτο-φιλοξενούμενου διακομιστή – αν πρέπει ο χρήστης να ρυθμίσει τον διακομιστή για να συνεργαστεί με την πλατφόρμα.

– Άμεση πρόσβαση σε δεδομένα πλατφόρμας από τρίτους προγραμματιστές – εάν ο προγραμματιστής χρειάζεται επιπλέον λογισμικό για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από την πλατφόρμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πλατφόρμες κινητής ιατρικής που πληρούν τις παραπάνω καθορισμένες παραμέτρους:

Apple Health

Το Apple Health αναπτύχθηκε από την Apple το 2014 και εξακολουθεί να διατηρείται και να αναπτύσσεται σήμερα. Το κεντρικό τμήμα της πλατφόρμας είναι η Health εφαρμογή για κινητά, η οποία είναι προεγκατεστημένη σε συσκευές Apple. Τα δεδομένα της πλατφόρμας αποθηκεύονται τοπικά στη συσκευή και συγχρονίζονται μεταξύ των συσκευών άλλων χρηστών χρησιμοποιώντας τεχνολογία iCloud.

Η δυνατότητα ανάγνωσης, τροποποίησης και εγγραφής δεδομένων σε τοπικό επίπεδο, όπως και η αποθήκευση μπορεί να απαιτηθεί από οποιεσδήποτε εφαρμογές τρίτων που είναι διαθέσιμες στο AppStore.

Η πλατφόρμα διαθέτει έναν τεράστιο αριθμό τύπων δεδομένων υγείας (πάνω από 160) και λεπτομερή τεκμηρίωση, που παρέχει εύκολη ενσωμάτωση με εφαρμογές τρίτων. Οι περισσότεροι δημοφιλείς εφαρμογές στο AppStore που επιτρέπουν την παρακολούθηση της υγείας έχουν εφαρμόσει τη δυνατότητα συγχρονισμού των δεδομένων HealthKit.

Η Apple Health περιλαμβάνει το ResearchKit και το CareKit, τα οποία παρέχουν στους ερευνητές τη δυνατότητα για τη δημιουργία μιας έτοιμης παρακολούθησης και αξιολόγησης της υγείας,

εφαρμογή που βασίζεται σε off-the-shelf μοντέλα. Ωστόσο, απαιτείται ακόμα προγραμματιστής Swift ή Objective C για να χρησιμοποιηθούν.

Παρά τα μεγάλα πλεονεκτήματά του, το κύριο μειονέκτημα της εφαρμογής του Apple Health είναι ότι είναι απομονωμένη στο οικοσύστημα της Apple. Η διαχείριση των δεδομένων από την πλατφόρμα είναι δυνατή μόνο απευθείας μέσω της εφαρμογής για κινητά. Η εφαρμογή για κινητά μπορεί να αλληλεπιδράσει με το HealthKit μόνο εάν έχει εφαρμοστεί στην πλατφόρμα iOS. Η έλλειψη πρόσβασης στα δεδομένα μέσω ανοιχτού API σημαίνει επίσης ότι είναι αδύνατη η ανάκτηση δεδομένων στο λειτουργικό σύστημα Android, το οποίο περιορίζει σημαντικά το εύρος των χρηστών που μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το προϊόν που εφαρμόζεται σε αυτήν την πλατφόρμα.

Google Fit

Η πλατφόρμα Google Fit⁴ αναπτύχθηκε από την Google το 2014 και εξακολουθεί να διατηρείται και να αναπτύσσεται σήμερα. Το κεντρικό τμήμα της πλατφόρμας είναι μια διαδικτυακή υπηρεσία που παρέχει ένα ενιαίο σύνολο API για διαχείριση δεδομένων στην πλατφόρμα. Τα δεδομένα της πλατφόρμας αποθηκεύονται σε εξ αποστάσεως διακομιστές Google Cloud και μπορούν να συγχρονιστούν τοπικά στη συσκευή.

Διαθέτει την εφαρμογή για κινητά τόσο στο Google Play όσο και στο App Store, επιτρέποντας στον χρήστη να αλληλεπιδρά απευθείας με το Google Fit το οποίο διαχειρίζεται ένα περιορισμένο σύνολο τύπων δεδομένων υγείας (περίπου 30 τύποι συνολικά) που διατίθενται στην εφαρμογή.

Για τους προγραμματιστές, είναι δυνατή η διαχείριση δεδομένων του χρήστη από οποιαδήποτε συσκευή και εφαρμογή μέσω του API. Μια υπηρεσία τρίτου μέρους πρέπει να ζητήσει τις κατάλληλες άδειες από τον χρήστη μέσω του λογαριασμού της Google για πρόσβαση στα δεδομένα του χρήστη. Η σύνδεση με την πλατφόρμα είναι σχετικά εύκολη με την υλοποίηση των απαραίτητων αιτημάτων API.

Ωστόσο, παρά την ευελιξία της αλληλεπίδρασης με την πλατφόρμα, ο αριθμός των τύπων δεδομένων υγείας που παρακολουθούνται είναι πολύ μικρός. Επιπλέον, η πλατφόρμα δεν

επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργήσει τους δικούς του τύπους δεδομένων, γεγονός που καθιστά αδύνατη τη χρήση του Google Fit ως πλατφόρμας καθολικής παρακολούθησης της υγείας.

Microsoft HealthVault

Η πλατφόρμα Microsoft HealthVault είναι ένα έργο που αναπτύχθηκε από την Microsoft το 2007 αλλά έκλεισε το 2019. Όσον αφορά τη λειτουργικότητα, η πλατφόρμα είχε ένα σχετικά εκτεταμένο σύνολο πλεονεκτημάτων. Υπήρχε μια εφαρμογή στο AppStore, καθώς και στο Google Play. Επιπλέον, ο χρήστης μπορούσε να έχει πρόσβαση στην υπηρεσία μέσω της εγγενούς διεπαφής ιστού. Τα δεδομένα αποθηκεύονταν στην υπηρεσία Microsoft Cloud.

Για τους προγραμματιστές, υπήρχε η δυνατότητα σύνδεσης με την πλατφόρμα, αλλά τώρα είναι δύσκολο να προσδιοριστεί εάν ήταν εύκολο να εφαρμοστεί αφού η τεκμηρίωση για το έργο αρχειοθετείται από την εταιρεία. Ωστόσο, υπάρχει ένα δωρεάν διαθέσιμο SDK για iOS και Android που υλοποιεί βασικά αιτήματα στην πλατφόρμα.

Ήταν επίσης δυνατή η πρόσβαση στην πλατφόρμα μέσω ενός API, το οποίο επέτρεπε στους ερευνητές να λαμβάνουν δεδομένα απευθείας από τους χρήστες χωρίς τη δημιουργία υπηρεσίας ξεχωριστού ιστού.

Ο αριθμός και τα είδη των παραμέτρων στο έργο ήταν αρκετά εκτεταμένα και επέτρεψαν να διατηρηθούν οι περισσότεροι τύποι δεδομένων για την ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, παρά την ευέλικτη διαχείριση δεδομένων, η πλατφόρμα δεν είχε καμία δυνατότητα κοινής χρήσης δεδομένων και οποιασδήποτε ανατροφοδότησης σχετικά με την κατάσταση της υγείας του ασθενούς. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι χρήστες να μην έχουν πρακτικές ωφέλειες από τη χρήση της πλατφόρμας, με αποτέλεσμα η Microsoft να σταματήσει το έργο το 2019 λόγω μειονεκτημάτων απέναντι στον ανταγωνισμό των άλλων εταιρειών.

HealthBox

Το HealthBox είναι ένα έργο ανοιχτού κώδικα από τον ανεξάρτητο προγραμματιστή "VOLT" που δημοσιεύτηκε το 2020. Αυτό το έργο δεν είναι ένα τελικό προϊόν του οποίου η λήψη μπορεί να γίνεται από το AppStore ή το Google Play ή να ανοίγει σε ένα πρόγραμμα περιήγησης. Ωστόσο, ο

στόχος του συμπίπτει με τον πρωταρχικό στόχο της πλατφόρμας έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, ο οποίος είναι η συγκέντρωση δεδομένων υγείας από διαφορετικές πηγές.

Ο προγραμματιστής αυτού του έργου προτείνει ένα πλαίσιο για μια αρθρωτή, κεντρική και ασφαλή διαδικτυακή υπηρεσία που ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει ως έχει ή να τροποποιήσει, και στη συνέχεια να αναπτύξει ως υπηρεσία ιστού που βασίζεται σε Python σε οποιαδήποτε συσκευή το επιτρέπει.

Το προφανές μειονέκτημα του έργου είναι η έλλειψη δημοτικότητας και η έλλειψη υπηρεσιών που μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτό. Σε αυτό το στάδιο, προσφέρεται στους χρήστες να δημιουργήσουν τους δικούς τους προσαρμογείς, οι οποίοι θα μεταδίδουν δεδομένα σε αυτήν την υπηρεσία από άλλες εφαρμογές. Ωστόσο, αυτό το έργο ξεκίνησε σχετικά πρόσφατα, και η ανάπτυξή του βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, επομένως αυτή η τεχνολογία μπορεί να βρει μαζική πρακτική εφαρμογή στο μέλλον.

Open mHealth

Η πλατφόρμα Open mHealth είναι ένα έργο ανοιχτού κώδικα από ανεξάρτητους προγραμματιστές στο Open mHealth, που ιδρύθηκε το 2011. Δυστυχώς, σύμφωνα με τις πληροφορίες στον ιστότοπο του έργου, συμπεραίνουμε ότι η ανάπτυξή του διακόπηκε το 2019. Παρόλα αυτά, αυτό το έργο είναι ένα παράδειγμα της προσέγγισης για την οικοδόμηση πλατφόρμας Smart Healthcare.

Αυτό το έργο, όπως και το HealthBox, δεν έχει ολοκληρωθεί και αντιπροσωπεύει την αρχιτεκτονική για τη δημιουργία διαδικτυακής υπηρεσίας που επιτρέπει τη συλλογή και επεξεργασία ιατρικών δεδομένων από διαφορετικές πηγές.

Αν και το έργο αναπτύχθηκε από ανεξάρτητους προγραμματιστές, κατά τη διάρκεια της ύπαρξής του, είχε εννέα περιπτώσεις χρήσης με σενάρια διανομής δεδομένων σακχάρου αίματος μεταξύ του ασθενούς και του θεράποντος ιατρού με την ενσωμάτωση δεδομένων από οκτώ άλλες υπηρεσίες (Case study: Type 1 diabetes – Open mHealth. <https://www.openmhealth.org/features/case-studies/case-study-type-1-diabetes/>. Cited 28.04.2021), καθώς και την ανάλυση των δεδομένων ασθενών με περιπτώσεις PTSD (διαταραχή μετατραυματικού στρες) με ενσωμάτωση από πέντε άλλες υπηρεσίες. (Chenet al., 2012) και (Case

study: Post-Traumatic Stress (PTSD) – Open mHealth.

<https://www.openmhealth.org/features/case-studies/case-study-post-traumatic-stress-ptsd/>.

Cited 28.04.2021).

Η κύρια διαφορά μεταξύ Open mHealth και HealthBox είναι ότι το Open mHealth έχει πολλά περισσότερα επεξεργασμένα σχήματα δεδομένων και την αρχή της αλληλεπίδρασης με την πλατφόρμα, επιτρέποντας την ενοποίηση δεδομένων από διαφορετικές πηγές, την επεξεργασία, την οπτικοποίηση και την αποστολή σε άλλες υπηρεσίες.

Παρά την καλά ανεπτυγμένη τεχνική του έργου, δεν υπάρχουν περιπτώσεις ενσωμάτωσης αυτής της πλατφόρμας στη μαζική παραγωγή. Όλες οι περιπτώσεις χρήσης προορίζονται είτε για προγραμματιστές λογισμικού ή έναν συγκεκριμένο ασθενή. Ωστόσο, η προσέγγιση και η αρχιτεκτονική που προσφέρει αυτή η πλατφόρμα μπορεί να ληφθεί ως βάση για εργασία σε μια ενιαία πλατφόρμα Smart Healthcare.

6.6. ΕΞΥΠΝΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΥΓΕΙΑΣ

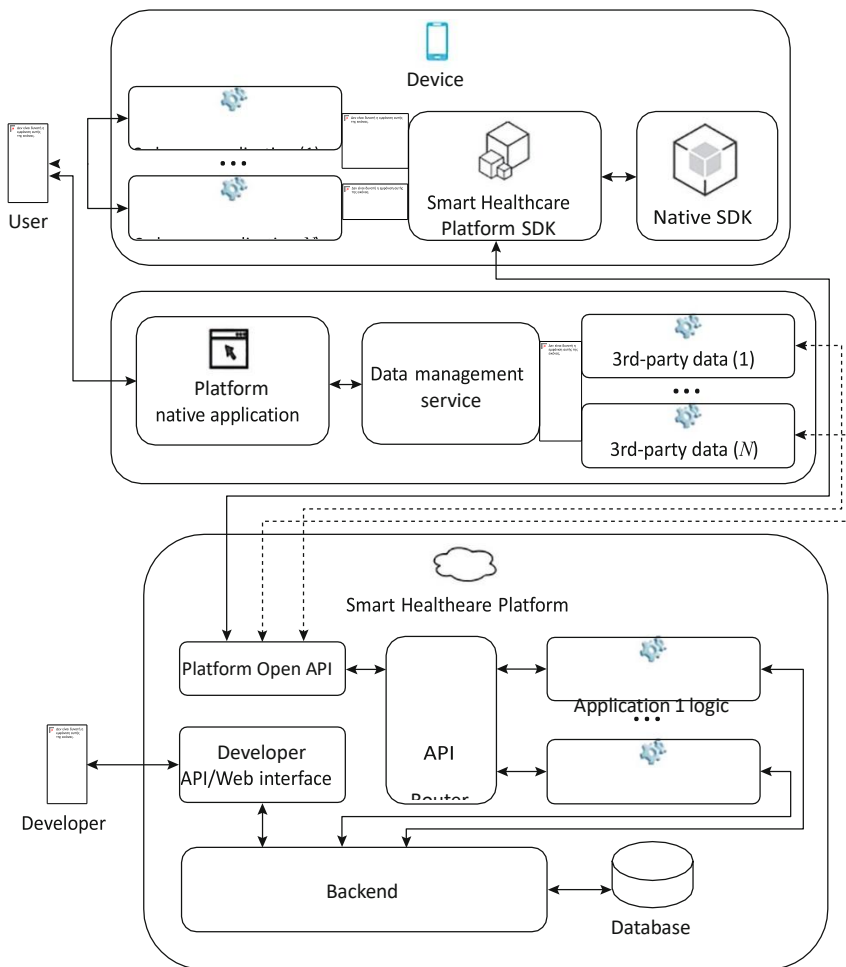
Με βάση την ανάλυση των υπάρχουσών λύσεων, μπορεί να υποστηριχθεί ότι μια επιτυχημένη Πλατφόρμα Υγείας πρέπει να ανταποκρίνεται στις ακόλουθες απαιτήσεις:

- (1) οι ασθενείς θα πρέπει να λαμβάνουν πρακτικό όφελος από τη χρήση της πλατφόρμας·
- (2) Η πλατφόρμα θα πρέπει να επιτρέπει στους ασθενείς να μοιράζονται τα δεδομένα τους με τα μέλη της οικογένειας ή τους γιατρούς με ασφάλεια·
- (3) η πλατφόρμα θα πρέπει να παρέχει ένα ανοιχτό API για προγραμματιστές χωρίς να χρειάζεται να ζητήσουν άδεια και να αποκτήσουν πρόσβαση στα ιατρικά δεδομένα·
- (4) η πλατφόρμα θα πρέπει να είναι ευέλικτη όσον αφορά τους τύπους των δεδομένων υγείας που είναι διαθέσιμοι για παρακολούθηση.

Συγκρίνοντας αυτή τη λίστα με τις διαθέσιμες πλατφόρμες, γίνεται αντιληπτό ότι αυτές δεν καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις. Η έλλειψη πρακτικού οφέλους για τον ασθενή, η απουσία κοινής

χρήσης δεδομένων, η απουσία ανοιχτού API ή η ευελιξία τύπων δεδομένων υγείας είναι ζωτικής σημασίας κατά την ανάπτυξη μιας Πλατφόρμα Smart Healthcare. Εξαιτίας αυτού, δεν υπάρχει κανένα πρακτικό όφελος από την πλατφόρμα ούτε για τους χρήστες ή για εταιρείες. Και ενώ μερικές από τις πλατφόρμες, όπως το HealthVault και το Open mHealth, έχουν εγκαταλειφθεί λόγω αυτού του προβλήματος, οι πιο δημοφιλείς υπηρεσίες όπως το Apple Health και το Google Fit εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται και να αυξάνεται η χρήση τους. Ωστόσο, χρησιμοποιείται μόνο το λειτουργικό τους σύστημα από τους χρήστες και αυτές οι υπηρεσίες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως καθολική πλατφόρμα.

Με βάση αυτό, προτείνεται από τους I. Volkona, , G. Radchenko, και A. Tchernykh μια ιδέα για την Πλατφόρμα έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, που υποστηρίζει τις αναφερόμενες απαιτήσεις.



Σχήμα 6: Proposed Smart Healthcare Platform architecture.

6.6.1. ENNOIA ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ

Οι παραπάνω συγγραφείς του άρθρου «Digital Twins, Internet of Things and Mobile Medicine: A Review of Current Platforms to Support Smart Healthcare» προτείνουν την ανάπτυξη μιας ανοιχτής έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης που θα έλυσε το πρόβλημα της ανταλλαγής ιατρικών δεδομένων μεταξύ των προγραμματιστών των κινητών ιατρικών εφαρμογών και μεταξύ των χρηστών τέτοιων εφαρμογών, παρέχοντας διαφανή συγκέντρωση και κοινοποίηση ιατρικών δεδομένων. Αυτή η πλατφόρμα θα βασίζεται στην αρχή της τοπικής αποθήκευσης και επεξεργασίας προσωπικών δεδομένων (χρησιμοποιώντας συστήματα mobile edge ή χρησιμοποιώντας fog computing resources). Επιπλέον, θα πρέπει να εξεταστεί η δυνατότητα για τους κατόχους ιατρικών δεδομένων να μοιράζονται τα δεδομένα τους με διαφάνεια με τα μέλη της οικογένειας, γιατρούς και ερευνητικά ιδρύματα. Μια τέτοια πλατφόρμα θα πρέπει να επιτρέπει στους προγραμματιστές ιατρικών εφαρμογών να μειώσουν σημαντικά το κόστος ανάπτυξης και απλοποίησης της πρόσβασης του τελικού χρήστη σε διάφορους τύπους ιατρικών δεδομένων.

Ως μοντέλο αλληλεπίδρασης χρήστη με αυτήν την πλατφόρμα, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η αρχή της αμφίδρομης αγοράς. Η λύση θα πρέπει να παρέχει στους προγραμματιστές τη δυνατότητα να δημιουργήσουν τις υπηρεσίες τους χρησιμοποιώντας τη διαδικτυακή υπηρεσία με Open API, προκαθορισμένη δομή δεδομένων, SDK με όλα τα απαραίτητα αιτήματα που έχουν ήδη υλοποιηθεί και διεπαφή προγραμματιστή. Οι εταιρείες μπορούν να ενσωματωθούν σε μια τέτοια πλατφόρμα για να ανταποκριθούν στα εσωτερικά τους καθήκοντα ή να παρέχουν τις υπηρεσίες τους.

Από την άλλη πλευρά, οι ασθενείς θα μπορούν να λαμβάνουν υπηρεσίες από διαφορετικές εταιρείες που δεν εξαρτώνται η μία από την άλλη, αλλά παρέχουν τις υπηρεσίες τους σε ένα μέρος και σε μορφή που συμφωνείται από το σύστημα εκ των προτέρων.

6.6.2. ΧΡΗΣΤΕΣ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ

Οι τύποι χρηστών για τις έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης στους οποίους θα παρέχονται οι υπηρεσίες της πλατφόρμας του Smart Healthcare μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

(1) Οι ασθενείς. Οι ασθενείς αναμένουν να λάβουν ένα ευρύ φάσμα ιατρικών φαρμάκων και υπηρεσίες σε προσιτή τιμή με εξατομικευμένες συστάσεις. Εκτός από την κλινική διάγνωση του γιατρού, έχουν την ευκαιρία να αποκτήσουν περισσότερη ιατρική γνώση μέσω της ψηφιακής πλατφόρμας και της σύνδεσής τους και επικοινωνίας με άτομα με παρόμοια θέματα υγείας, λαμβάνοντας πληροφορίες, όπως για τα συμπτώματα της ασθένειας, τις παρενέργειες, τη νοσηλεία, πληροφορίες φαρμακευτικής αγωγής, κλινικές αναφορές και ανάπτυξη ψυχικών σεναρίων. Ο ασθενής είναι η κύρια πηγή πληροφορίας για την υγεία του μέσω της παραγωγής δεδομένων σε φορητή συσκευή.

(2) Οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης. Ο τεράστιος όγκος δεδομένων συλλέγεται σε διάφορα στάδια διάγνωσης της ασθένειας και η θεραπεία βοηθά τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να αποκτήσουν μια ρεαλιστική εικόνα της προτεινόμενης πορείας της θεραπείας. Τα δεδομένα του συστήματος υγείας περιλαμβάνουν εργαστηριακά αποτελέσματα, κλινικές σημειώσεις, δεδομένα ιατρικής απεικόνισης και δεδομένα συσκευών αισθητήρων. Αυτά τα δεδομένα συμβάλλουν στη βελτίωση της επιτήρησης της δημόσιας υγείας και επιτρέπουν την ταχεία απόκριση μέσω μοτίβων πρακτικής ανάλυσης της νόσου. Επιπλέον, τα δεδομένα από συσκευές χειρός βοηθούν τους γιατρούς να παρακολουθούν τη χρήση φαρμάκων, παρακολουθώντας την κατάσταση της υγείας του ασθενούς ανά πάσα στιγμή.

(3) Κλινικοί ερευνητές. Η χρήση κλινικών δεδομένων βοηθά στη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων για την κατανόηση των βιολογικών διεργασιών και των επιδράσεων των φαρμάκων που συμβάλλουν σε υψηλά επίπεδα αποτελεσματικότητας στην ανάπτυξη φαρμάκων. Επιπλέον, αναλύοντας ιατρικά δεδομένα από διάφορες πηγές παρέχεται βοήθεια στους κλινικούς ερευνητές να μετρήσουν τα αποτελέσματα της χρήσης φαρμάκων, ακόμη και σε μικρές και γρήγορες δοκιμές.

Εκτός από τους παραπάνω ενδιαφερόμενους για την προτεινόμενη πλατφόρμα, οι κύριοι χρήστες της θα πρέπει να είναι οι προγραμματιστές που θα παρέχουν υπηρεσίες στους αναφερόμενους ενδιαφερόμενους μέσω της πλατφόρμας. Για τους προγραμματιστές, η πλατφόρμα θα πρέπει να παρέχει:

- Open API (application programming interface) για άμεση επικοινωνία με την πλατφόρμα
- SDK (Software Development Kit) για την ανάπτυξη εφαρμογών για κινητά και διαδίκτυο
- διαχείριση των φυσιολογικών δεδομένων των ασθενών
- διαχείριση των δεδομένων μέτρησης των ιατρικών παραμέτρων του ασθενούς, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών CRUD (create, read, update, and delete)
- ευέλικτες δυνατότητες άμεσης κοινής χρήσης δεδομένων με τους έμπιστους χρήστες μέσω peer-to-peer επικοινωνίας (ομότιμου δίκτυου)
- δυνατότητες για ανώνυμη κοινή χρήση ιατρικών δεδομένων στο cloud για την υποστήριξη κλινικών ερευνητών.

6.6.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ

Η προτεινόμενη πλατφόρμα χωρίζεται σε τρία κύρια μέρη.

Πρώτον είναι το τμήμα της συσκευής, το οποίο είναι προσβάσιμο σε απευθείας σύνδεση στους χρήστες της πλατφόρμας, όπως ασθενείς, συγγενείς, κλινικούς ερευνητές και πάροχους υγειονομικής περίθαλψης. Στο τμήμα της συσκευής, οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Smart Healthcare Platform SDK για την υλοποίηση των εφαρμογών τους χωρίς να χρειάζεται να αναπτύξουν τους διακομιστές τους.

Το Smart Healthcare Platform SDK θα περιέχει ενότητες για διαφορετικές πλατφόρμες με ήδη εφαρμοσμένες κλήσεις API για διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης, παρέχοντας στους προγραμματιστές έναν άνετο τρόπο να σχεδιάζουν τη δομή δεδομένων και να εφαρμόζουν το συγχρονισμό δεδομένων σε αυτές τις εφαρμογές.

Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την κοινή χρήση των δεδομένων μέσα στην πλατφόρμα μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και συσκευών που χρησιμοποιούν τυποποιημένα πρωτόκολλα και δομές δεδομένων. Παρέχει στους προγραμματιστές τη δυνατότητα δημιουργίας εφαρμογών για τη διαχείριση των ιατρικών δεδομένων, την παρακολούθηση και ανάλυση για ασθενείς, τους συγγενείς τους, κλινικούς ερευνητές και παρόχους υγειονομικής περίθαλψης.

Επίσης, προτείνεται η παροχή μιας εγγενούς ή μιας διαδικτυακής εφαρμογής (a native or a web application) ως εργαλείο παρακολούθησης και διαχείρισης όλων των ιατρικών δεδομένων του χρήστη συγκεντρωμένων από τρίτου μέρους εφαρμογές που παρέχουν ή ανακαλούν δικαιώματα πρόσβασης σε δεδομένα αυτών των εφαρμογών.

Τέλος, το backend (σύστημα υποστήριξης) της πλατφόρμας παρέχει ένα Open API και API προγραμματιστών/Διασύνδεση Ιστού για εφαρμογές τρίτου μέρους. Το Backend είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων, των δικαιωμάτων πρόσβασης εφαρμογών τρίτου μέρους. Οι αιτήσεις διανέμονται στην πλατφόρμα και μπορούν να ζητήσουν πρόσβαση στα δεδομένα των χρηστών στην πλατφόρμα μέσω αποκλειστικών API.

Συμπερασματικά, η έξυπνη υγεία βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε ταχεία ανάπτυξη. Οι τεχνολογίες της κινητής ιατρικής, τα ψηφιακά δίδυμα και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την παρακολούθηση της υγείας ενός ατόμου και να επηρεάσει θετικά τη θεραπεία του. Ωστόσο, η έρευνα σε αυτούς τους τομείς εξακολουθεί να είναι ανεπαρκής στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτών των τεχνολογιών σε μακροχρόνιες περιόδους και την εξέταση των δυσκολιών της μαζικής ένταξής τους στα ιδρύματα υγείας. Επομένως, η δημιουργία και η ενσωμάτωση τέτοιων τεχνολογιών πρέπει να αξιολογηθεί ως προς την πρακτική και οικονομική της σκοπιμότητα. Από την έρευνα προκύπτει ότι κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερες κινητές συσκευές υγείας, εφαρμογές και υπηρεσίες Ιστού κάθε χρόνο. Ωστόσο, η έλλειψη προτύπων και η απουσία ενιαίας πλατφόρμας για τη διάρθρωση των ιατρικών υπηρεσιών περιπλέκει την ενσωμάτωση αυτών των προϊόντων στον τομέα της υγείας. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να αναπτυχθεί μια ευέλικτη, ασφαλής και αξιόπιστη πλατφόρμα έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, ικανή να ανταποκριθεί στις ανάγκες της σύγχρονης εποχής. (Volkov I., Gleb Radchenko, Andrey Tchernykh)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7.1. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ

Τα ψηφιακά δίδυμα Black Box είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στον εξατομικευμένο σχεδιασμό της θεραπείας του καρκίνου. Ο συμβατικός σχεδιασμός της διάγνωσης και της θεραπείας του καρκίνου περιλαμβάνει επτά βήματα – κλινικές διαδικασίες που διαμορφώθηκαν με την πάροδο του χρόνου με σκοπό τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για τη φροντίδα των ασθενών με καρκίνο. Οι διαδικασίες αυτές είναι οι εξής:

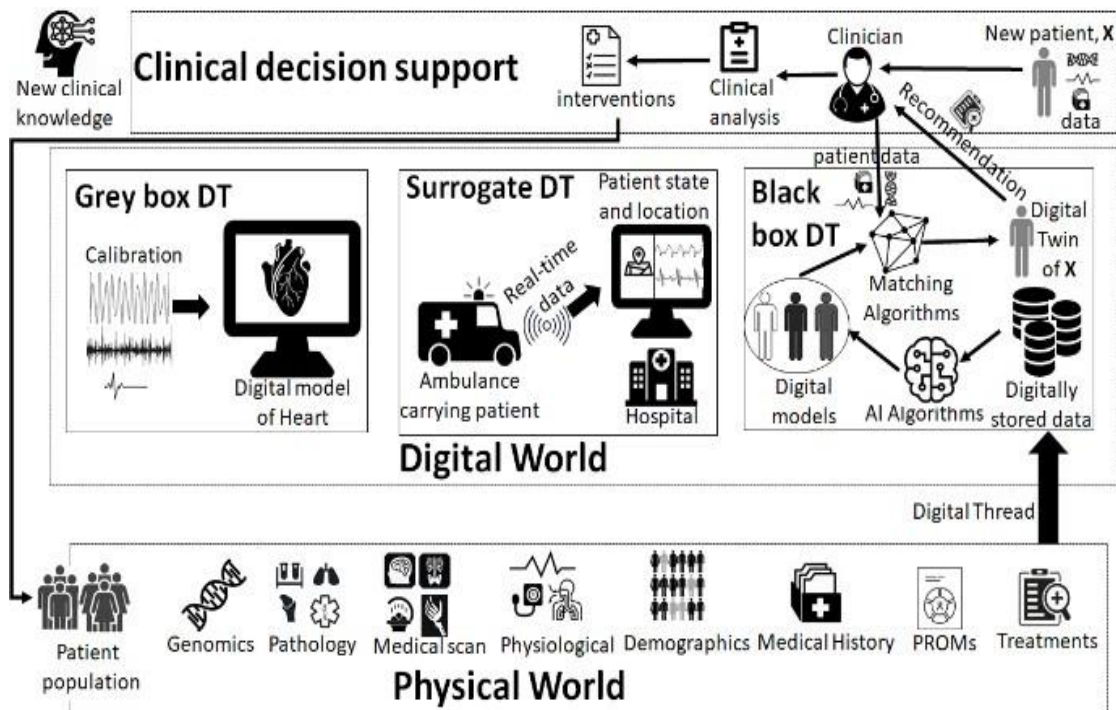
1. Σαφής οριοθέτηση της ανατομικής θέσης την νόσου, του ιστοπαθολογικού τύπου, της έκτασης, του σταδίου της νόσου, η οποία περιλαμβάνει και την καταγραφή δημογραφικών δεδομένων και δεδομένων σχετικών με την αδυναμία και τις συννοσηρότητες των ασθενών.
2. Εξοικείωση του θεράποντος ιατρού με τις νέες γνώσεις με απευθείας ενημέρωση από την επιστημονική βιβλιογραφία.
3. Ενημέρωση για τις τελευταίες εκδόσεις των κατευθυντήριων οδηγιών κλινικής πρακτικής από εξειδικευμένες εταιρείες σχετικές με τον τύπο του καρκίνου.
4. Πρόσβαση σε στοιχεία από δεδομένα του πραγματικού κόσμου (π.χ. μητρώα καρκίνου)
5. Αξιοποίηση της εμπειρίας των κλινικών ιατρών, της εμπειρογνωμοσύνης και της ανάκλησης περιπτώσεων προηγούμενων ασθενών που μοιάζουν με την περίπτωση του υπό περίθαλψη ασθενή.
6. Συνεργασία των ειδικών στο πλαίσιο διεπιστημονικής συνεδρίασης σχεδιασμού φροντίδας και διατύπωσης συστάσεων θεραπείας.
7. Λήψη συγκατάθεσης του ασθενούς για τη θεραπευτική επιλογή μετά από ενημέρωση και την προτίμηση μεταξύ ποιότητας ή ποσότητας ζωής.

Αυτά τα επτά βήματα δηλώνουν ότι για την εύρεση του καλύτερου δυνατού τρόπου της αντιμετώπισης και της θεραπείας του καρκίνου απαιτείται η επεξεργασία μεγάλων,

πολυφασματικών και συχνά ανομοιογενών δεδομένων και αναδεικνύουν την αναγκαιότητα της εισαγωγής των ψηφιακών διδύμων Black Box για την κάλυψη του κενού που υπάρχει όσον αφορά τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων από τους κλινικούς γιατρούς, καθώς θα μπορούσαν να έχουν έναν προκαταρκτικό αλλά άμεσο θετικό αντίκτυπο στη βελτίωση και την εξατομίκευση της θεραπείας του καρκίνου. Η έννοια του ψηφιακού διδύμου επεκτείνει και επισημοποιεί την έννοια της κλινικής εμπειρίας με την ακριβέστερη αντιστοίχιση του ασθενούς με προηγούμενους ασθενείς και με την αξιοποίηση ενός μεγάλου αριθμού προφίλ ασθενών και θεραπευτικών σχημάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων για τη φροντίδα του ασθενούς.

7.2. ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ

Το γενικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Απεικονίζονται τα τρία κύρια στοιχεία: ο φυσικός κόσμος, ο ψηφιακός κόσμος και το ψηφιακό νήμα.



Σχήμα 7: Ένα γενικό πλαίσιο για τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη που περιγράφει τις συνιστώσες και τις κατηγορίες (Wickramasinghe, et al., 2021)

7.3. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΚΑΙ ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΣΤΟΥ

Με δεδομένο ότι ετησίως καταγράφονται 2,3 εκατομμύρια διαγνώσεις καρκίνου του μαστού και 685.000 θάνατοι λόγω αυτής της νόσου, γίνεται αντιληπτό ότι ο καρκίνος του μαστού είναι ο πιο συχνός καρκίνος στις γυναίκες. Ειδικά το 2020 ο καρκίνος του μαστού αποτέλεσε την κύρια αιτία θανάτων γυναικών από καρκίνο σε 107 από 183 χώρες (58%) (Institute of Management, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lange Gasse 20, 90403 Nuremberg, German)

Η παροχή των απαραίτητων πληροφοριών καθ' όλη τη διαδρομή του ασθενούς είναι το κλειδί για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου του καρκίνου του μαστού με στόχο τον εντοπισμό του όσο το δυνατόν νωρίτερα και την παροχή βοήθειας στη διαδικασία θεραπείας. Οι ψηφιακές λύσεις παρέχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν, να μεταφέρουν και να αναλύουν με ολιστικό και προηγμένο τρόπο όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Συγκεκριμένα, τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη, ως δυναμικά αντίγραφα του ανθρώπινου σώματος, είναι πολλά υποσχόμενες προσεγγίσεις για την παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών και την πρόβλεψη της εξέλιξης του όγκου με βάση βιομετρικά δεδομένα.

Τα αποτελεσματικά προγράμματα ελέγχου του καρκίνου βασίζονται σε δύο προσεγγίσεις: την έγκαιρη διάγνωση (την αναγνώριση δηλαδή του συμπτωματικού καρκίνου) και τον προ-συμπτωματικό έλεγχο (δηλαδή τον εντοπισμό ασυμπτωματικών ασθενειών σε φαινομενικά υγιείς πληθυσμούς - στόχους) (World Health Organization. Cancer Control: diagnosis and treatment. Knowledge into Action - WHO Guide for effective programmes. Geneva: World Health Organization; 2008. & World Health Organization. Guide to early cancer diagnosis. [Geneva, Switzerland]: World Health Organization; 2017). Επιπλέον, τα μέτρα που αφορούν την πρόληψη, τη θεραπεία, την παρηγορητική φροντίδα και τη φροντίδα όσων επιβιώνουν συμπληρώνουν αυτές οι προσεγγίσεις σε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο ελέγχου του καρκίνου, που απαιτείται για τη διευκόλυνση της ταχείας και αποτελεσματικής φροντίδας (Babiker A, et al. 2014)

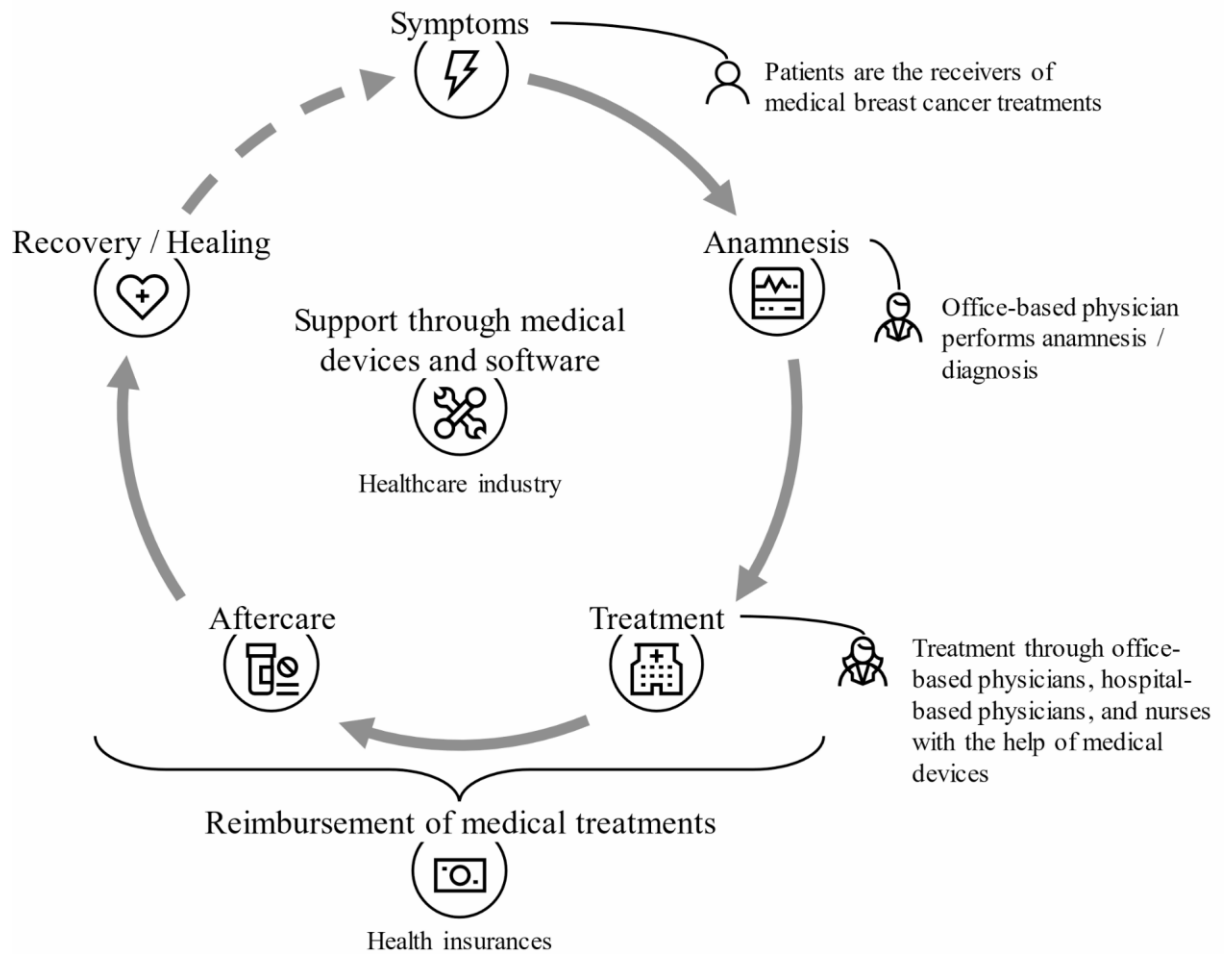
Οι λύσεις που προσφέρουν τα ψηφιακά μέσα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο σε όλη τη διαδρομή του ασθενούς, με την ενεργοποίηση της συνεχιζόμενης και ταχείας διαθεσιμότητας ιατρικών δεδομένων (Rivera LF, et al., 2019), των νέων αναδυόμενων τεχνολογιών για τη συλλογή και επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων που παρέχει σημαντικές δυνατότητες για εξατομικευμένες θεραπείες (Cirillo D, Valencia A., 2019)

Ένα βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας για τα ιατρικά δεδομένα είναι τα ψηφιακά δίδυμα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ψηφιακό δίδυμο παρουσιάζεται ως ένα «ζωντανό μοντέλο του φυσικού αντικειμένου ή συστήματος, το οποίο συνεχώς προσαρμόζεται στις λειτουργικές αλλαγές με βάση τα συλλεγόμενα online δεδομένα και πληροφορίες και μπορεί να προβλέψει το μέλλον του αντίστοιχου φυσικού αντιπροσώπου» (Liu Z, et al, 2018), καταλαβαίνουμε ότι χρησιμοποιούνται κυρίως για την προσομοίωση της συμπεριφοράς φυσικών αντικειμένων μέσα σε έναν εικονικό χώρο, που επιτρέπει τον προγραμματισμό ή τη βελτιστοποίηση χωρίς να είναι αναγκαίο να βασιζόμαστε στο φυσικό αντικείμενο. (Enders MR, Hoßbach N, 2019)

Στην υγειονομική περίθαλψη, τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν ένα δυναμικό (δηλαδή, συνεχώς ενημερωμένο) αντίγραφο του ανθρώπινου σώματος, ή τουλάχιστον μερικών μερών του ανθρώπινου σώματος (Bagaria N, et al, 2020). Με την ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων προσομοίωσης και τη διαθεσιμότητα συνόλων κατάλληλων δεδομένων, η συμπεριφορά του ανθρώπινου σώματος και των υποσυστημάτων του μπορεί να προσομοιωθεί όχι μόνο για παρακολούθηση, αλλά και πρόβλεψη της μελλοντικής του κατάστασης (Mourtzis D, et al, 2021)

Τα ψηφιακά δίδυμα θα διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο στην ιατρική ακριβείας και έχουν ήδη υιοθετηθεί σε πολλές πειραματικές ρυθμίσεις φροντίδας του καρκίνου (Hernandez-Boussard T, et al. 2021), (Wickramasinghe N, et al. 2022), (Kaul R, et al., 2023).

Επειδή οι διαγνώσεις καρκίνου του στήθους απαιτούν την εξέταση πολλών παραγόντων κινδύνου, (Kaul R, et al., 2023), τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε αυτές οι θεραπείες. Με βάση την ενσωμάτωση συνόλων ετερογενών δεδομένων σε ψηφιακά αντίγραφα, προηγμένες αναλύσεις και αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να παρέχουν (σχεδόν) σε πραγματικό χρόνο προσομοιώσεις σεναρίων κατά τη διάρκεια της διαδρομής του ασθενούς.



Σχήμα 8: Simplified patient journey in breast cancer care, highlighting essential stakeholders in the process

Σε γενικές γραμμές, η εισαγωγή των ψηφιακών διδύμων στη θεραπεία του καρκίνου του μαστού προσφέρει πολλές δυνατότητες και οφέλη για μια εξατομικευμένη θεραπεία μέσω της πρόβλεψης του κινδύνου που διαφαίνεται και της εξέλιξης της νόσου. Ένα νοσοκομείο στο οποίο το ιατρικό προσωπικό μπορεί να εντοπίσει τους πιθανούς κινδύνους που διατρέχει ένας ασθενής θα μπορούσε να εισάγει προληπτικά μέτρα για την αποτροπή πολλών ασθενειών ειδικά στο πλαίσιο μιας κοινωνίας με ηλικιωμένο πληθυσμό.

Επιπλέον, ένα ψηφιακό δίδυμο θα μπορούσε να τονίσει τους ατομικούς παράγοντες κινδύνου, που πολλοί ασθενείς συχνά δε γνωρίζουν, ενώ θα συμβάλλει στην εξοικονόμηση κόστους για το σύστημα υγείας.

Επίσης, με τη συλλογή των πληροφοριών από τους επαγγελματίες της υγείας, απαλλάσσονται οι ασθενείς από την υποχρέωση να συλλέγουν οι ίδιοι τις απαραίτητες πληροφορίες, μειώνοντας την πιθανότητα υποβολής ελλιπούς ή λανθασμένης πληροφόρησης στους γιατρούς. Εξάλλου, η διαθεσιμότητα και έγκαιρη πρόσβαση σε συγκεντρωμένες και αναλυτικές πληροφορίες προσφέρει σημαντικό όφελος για τη διάγνωση και τη θεραπεία της νόσου, ενώ η χρήση των ψηφιακών μέσων που βασίζονται σε αλγόριθμους δύνανται να βοηθήσουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων των γιατρών.

Από την άλλη πλευρά, το να έχουμε μια σχεδόν πλήρη εικόνα του ασθενούς θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο για εισαγωγές νέων ασθενών και θα μπορούσε να αποτρέψει τις δαπανηρές και χρονοβόρες εξετάσεις. Στο πλαίσιο αυτό, οι εκπρόσωποι της ασφάλειας υγείας υπογραμμίζουν τη δυνατότητα βελτίωσης των σχέσεων ασθενούς-γιατρού μέσω του ψηφιακού δίδυμου. Αυτό θα βελτίωνε επίσης τη μετέπειτα φροντίδα και θα μπορούσε να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους, εάν μπορεί να αποφευχθεί η επανεισαγωγή των ασθενών στο νοσοκομείο.

Όσον αφορά τα επιστημονικά οφέλη, οι επαγγελματίες της υγείας τονίζουν την αξία των συλλεγόμενων δεδομένων για ερευνητικούς σκοπούς. Σύμφωνα με τους ειδικούς του κλάδου, η συλλογή μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων θα μπορούσε να επιτρέψει την απόκτηση πληροφοριών με πολύ καλύτερο τρόπο και με πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχίας από τη συλλογή μικρών ποσοτήτων δεδομένων. Ο συνδυασμός μεγάλων συνόλων δεδομένων από πολλαπλές πηγές καθώς και η συμπερίληψη των τελευταίων ευρημάτων από την ιατρική έρευνα θα μπορούσε ενδεχομένως να ανατροφοδοτήσει τους ασθενείς με πολύ πιο ακριβείς αποφάσεις και πιο εξατομικευμένη φροντίδα. (Jens Konorik, et al, <https://doi.org/10.1007/s12553-023-00798-4>)

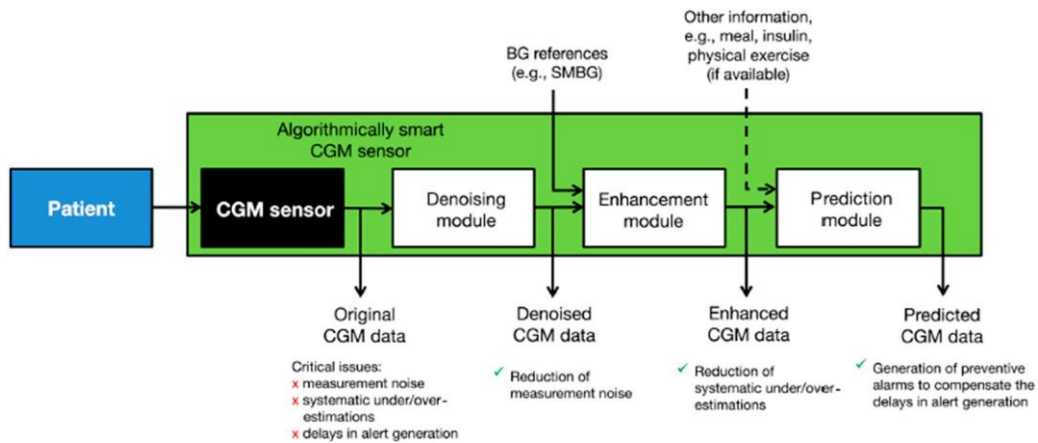
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

8.1. ΤΕΧΝΗΤΟ ΠΑΓΚΡΕΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

Ένα από τα πρώτα συστήματα ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη είναι το τεχνητό πάγκρεας. Αποτελείται από δύο βασικά μέρη: ένα σύστημα ικανό να μετρά τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα και μια συσκευή που περιέχει μια σύριγγα για την έγχυση ινσουλίνης όταν είναι αναγκαίο.

Παλαιότερα τα επίπεδα γλυκόζης μετριούνταν με σταγόνες αίματος από το δάχτυλο του ασθενή, αλλά κατά τον 20^ο αιώνα χρησιμοποιούνται λιγότερο επεμβατικές μέθοδοι. Αντί αυτού, αυτές οι τιμές θα μπορούσαν να συναχθούν με την παρακολούθηση της συγκέντρωσης γλυκόζης στον εξωκυτταρικό χώρο. Επειδή όμως, η σχέση ανάμεσα στα νέα ενδιάμεσα δεδομένα της γλυκόζης και στα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα δεν είναι ένα προς ένα, οι συσκευές πρέπει να παρέχουν βαθμονόμηση με τις πραγματικές τιμές της γλυκόζης του αίματος. Επιπλέον, και μετά την επιτυχή βαθμονόμηση, αυτή η μέθοδος είναι επιρρεπής σε ευαισθησία και τυχαίο θόρυβο. Για να χρησιμοποιηθούν τα ψηφιακά δίδυμα είναι αναγκαίο να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα. Έτσι, για παράδειγμα, αν τα επίπεδα γλυκόζης είναι προβλέψιμα για το εγγύς μέλλον, το σύστημα μπορεί να διαθέτει ειδοποιήσεις πρόβλεψης, παρακινώντας τον ασθενή να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες: προσαρμογή της δόσης της ινσουλίνης ή διαφοροποίηση των επιλογών διατροφής. (Meijer C., et al, 2023)

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, έχει εφαρμοστεί μια συλλογή αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος που εξασφαλίζουν την ακριβή πρόβλεψη των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα με βάση τις ελάχιστα επεμβατικές, ενδιάμεσες αναγνώσεις. Ο «έξυπνος αισθητήρας συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης» συνδυάζει τον υπάρχοντα αισθητήρα παρακολούθησης γλυκόζης με πολλά μοντέλα λογισμικού που έχουν σχεδιαστεί για τη μείωση του θορύβου και τη βελτίωση στην ακρίβεια και την πρόβλεψη της μελλοντικής συγκέντρωσης γλυκόζης.

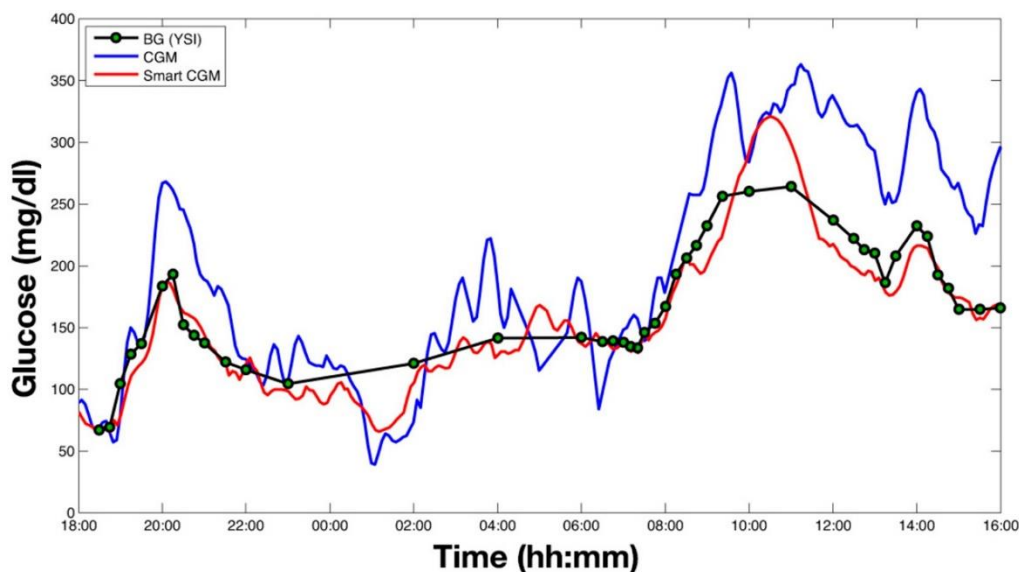


Σχήμα 9: Schematic of the smart continuous glucose monitoring sensor which allows for subcutaneous glucose reading, signal processing, and future reading prediction to reduce measurement noise and under- and overestimations of blood glucose values. It also contains a prediction module to generate timelier alerts. (Facchinetti, A., et al., 2013)

Η αποθρομβοποίηση χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των μετρήσεων της υποδόριας συγκέντρωσης γλυκόζης από τον αισθητήρα μειώνοντας την επίδραση του θορύβου στα δεδομένα. Για την εκτίμηση του πραγματικού διάμεσου αίματος συγκέντρωσης γλυκόζης, ο αλγόριθμος αποθρομβοποίησης χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο παρεμβολής Bayesian που λαμβάνει υπόψη γενικές πληροφορίες σχετικά με τις αναλογίες σήματος προς θόρυβο, καθώς και τα δεδομένα που διαθέτει που συλλέχθηκαν προηγουμένως από το συγκεκριμένο άτομο, για να προσδιοριστεί ποια μέρη του σήματος είναι θόρυβος. Ο αλγόριθμος επίσης δεν απαιτεί παρέμβαση του χρήστη και έχει σχεδιαστεί για να είναι προσαρμοσμένος στην αναλογία σήματος προς θόρυβο κάθε μεμονωμένου χρήστη. Επιπλέον, για την καταπολέμηση των υποεκτιμήσεων και υπερεκτιμήσεων των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα με βάση τις υποδόριες μετρήσεις γλυκόζης, τα δεδομένα ενισχύονται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων.

Εν συντομία, οι μετρήσεις γλυκόζης αίματος ταιριάζουν με τις εκτιμήσεις γλυκόζης αίματος που γίνονται με βάση τις ενδιάμεσες μετρήσεις που λαμβάνονται ταυτόχρονα. Στη συνέχεια, οι παράμετροι παλινδρόμησης χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των μελλοντικών δεδομένων που

συλλέγονται από τον υποδόριο αισθητήρα για την ακριβέστερη εκτίμηση των αντίστοιχων τιμών γλυκόζης στο αίμα. Αυτή η γραμμική παλινδρόμηση μπορεί να ενημερωθεί σε πραγματικό χρόνο και λαμβάνει υπόψη την επίδραση της μεταφοράς γλυκόζης από το αίμα στο διάμεσο και την καθυστέρηση της στον μεμονωμένο χρήστη. Η προσθήκη αυτών των δύο σταδίων επεξεργασίας δεδομένων είχε ως αποτέλεσμα μια πολύ βελτιωμένη ακρίβεια εκτίμησης της γλυκόζης στο αίμα, η οποία είναι απαραίτητη για συσκευές που χρησιμοποιούν υποδόριες μετρήσεις.



Σχήμα 10: Results of application of the smart continuous glucose measuring system on a human subject. Original reading data are in blue, denoised and enhanced values are in red, and reference blood glucose measurements are shown as green dots. (Facchinetti, A., et al., 2013)

Τέλος, ο έξυπνος αισθητήρας είναι σε θέση να προβλέπει μελλοντικές συγκεντρώσεις γλυκόζης για να επιτρέψει στη συσκευή να παράγει έγκαιρα ειδοποιήσεις. Η πρόβλεψη του επιπέδου γλυκόζης επιτυγχάνεται διαβάζοντας όλα τα προηγούμενα δεδομένα που δημιουργήθηκαν από τον αισθητήρα και εκχωρώντας σε κάθε μέτρηση διαφορετικό βάρος, με βάση ένα αυτοπαλινδρομικό μοντέλο. Οι μελλοντικές αξίες υπολογίζονται στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας κάθε προηγούμενο σημείο δεδομένων με το βάρος του σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να δημιουργηθεί μια

προληπτική ειδοποίηση όταν η προβλεπόμενη τιμή είναι είτε πολύ χαμηλή είτε πολύ υψηλή (Facchinetti, A., et al., 2013)

Τα τελευταία χρόνια, οι συσκευές παρακολούθησης γλυκόζης που χρησιμοποιούν αυτούς τους αλγόριθμους έχουν εγκριθεί για χρήση από τον FDA (Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ), χωρίς την ανάγκη βαθμονόμησης με μετρήσεις τριχοειδούς αίματος. Αυτές οι συσκευές είναι ικανές να μετρούν δεδομένα ασθενών, να εφαρμόζουν επεξεργασία δεδομένων και να προβλέπουν μελλοντικές τιμές σε πραγματικό χρόνο. (Kovatchev, B. A, 2019)

Ωστόσο, απαιτούνται πολλές περισσότερες μεταβλητές εκτός από τη γλυκόζη του αίματος για τη δημιουργία ενός πολύπλοκου ψηφιακού δίδυμου παγκρέατος. Το 1979, ο ρυθμός επεξεργασίας της γλυκόζης περιγράφηκε σε μια μη γραμμική συνάρτηση (Bergman, R.N., et al., 1979) και αυτό το μοντέλο έχει εξελιχθεί σε ένα μοντέλο που περιγράφει ένα δίκτυο γλυκόζης-ινσουλίνης χρησιμοποιώντας πολλές λειτουργίες και παραμέτρους για να ληφθούν υπόψη οι κινητικές γλυκόζης, η κινητική της ινσουλίνης, ο ρυθμός εμφάνισης γλυκόζης, η ενδογενής παραγωγή γλυκόζης, η χρήση, η έκκριση και η απέκκριση (Dalla Man, C., et al., 2007)

Επιπλέον, σχεδιάστηκαν μοντέλα που περιγράφουν την επίδραση εξωτερικών επιρροών, όπως η σωματική δραστηριότητα και οι καθυστερήσεις που σχετίζονται με την υποδόρια και όχι την ενδοφλέβια χορήγηση ινσουλίνης. Αυτά τα μοντέλα καθιστούν δυνατό τον έλεγχο της επίδρασης οποιουδήποτε γεύματος ή ένεσης ινσουλίνης, καθώς και οποιωνδήποτε ακραίων σεναρίων ψηφιακά, πριν από τη χρήση σε κλινικές δοκιμές. Επί του παρόντος, ένας αυξανόμενος αριθμός μεταβλητών προστίθεται στα συστήματα τεχνητού παγκρέατος. Η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού, η αίσθηση κίνησης, οι πρόσθετες ορμόνες και η γλυκαγόνη έχουν αναλυθεί για τη χρήση τους στον μετριασμό της υπογλυκαιμίας κατά τη διάρκεια της σωματικής άσκησης. Οι τεχνικές εξελίξεις, όπως η επικράτηση των smartphone με δυνατότητα εκτέλεσης αλγορίθμων και ασύρματης σύνδεσης, μπορεί να προσφέρουν στους ασθενείς καλύτερη παρακολούθηση των επιπέδων γλυκόζης τους χρησιμοποιώντας μια συσκευή που είναι ήδη ενσωματωμένη στην καθημερινή ζωή ως ελεγκτής. (Kovatchev, B. A, 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

9.1. ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΑ

Η καρδιαγγειακή νόσος (CVD) αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο όλων των θανάτων παγκοσμίως και είναι η κύρια αιτία πρόκλησης αναπηρίας ή πρόωρου θανάτου. Επιπλέον, η ισχαιμική καρδιοπάθεια (IHD) ξεπερνά όλους τους άλλους τύπους καρδιαγγειακής νόσου ως αιτία πρόωρης θνησιμότητας, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ενδεδειγμένες θεραπείες. Επομένως, χρειάζεται προσοχή στην ακριβή και εξατομικευμένη αξιολόγηση του κινδύνου, καθώς και στην επιλογή των κατάλληλων θεραπειών και κρίνεται επιτακτική η πρόληψη της νόσου.

Μέχρι τώρα ο κίνδυνος CVD και IHD εκτιμάται με τη χρήση αλγόριθμων κινδύνου που ενσωματώνουν μικρό αριθμό παραγόντων παραδοσιακών κινδύνων. Ωστόσο, ο σημαντικός αριθμός γεγονότων που συμβαίνουν σε άτομα που θεωρούνται χαμηλού κινδύνου από τους παραδοσιακούς αλγόριθμους και η ανθεκτικότητα στη θεραπεία σε άτομα με παράγοντες κινδύνου υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα βελτιστοποίησης της αποτελεσματικής χρήσης των προληπτικών μεθόδων, φαρμάκων, συσκευών και άλλων θεραπειών, που σχετίζονται με την υγεία αλλά και το οικονομικό κόστος της περίθαλψης.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί παραπάνω, η ακριβής ή εξατομικευμένη ιατρική είναι ένας εξελισσόμενος τομέας παγκοσμίως και επιδιώκει να προσδιορίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τον φαινότυπο μεμονωμένων ασθενών με την ίδια κατάσταση ή τα ίδια χαρακτηριστικά, επιτρέποντας προσαρμοσμένο προ-συμπτωματικό έλεγχο, διάγνωση και θεραπεία. Η ιδέα έχει διευκολυνθεί από βιολογικές βάσεις δεδομένων, όπως η αλληλουχία γονιδιώματος και χρήση βιο-δεικτών και άλλων δεικτών για τη στρωματοποίηση των ασθενών για μια πιο στοχευμένη θεραπεία. Για χρόνια, οι τεχνολογίες «omics» έχουν μετρήσει τις δραστηριότητες χιλιάδων γονιδίων (transcriptomics), πρωτεΐνες (proteomics) ή άλλα μοριακά χαρακτηριστικά ταυτόχρονα από μια μικτή συλλογή κυττάρων που δημιουργούν πολύπλοκα δεδομένα υψηλών διαστάσεων που ονομάζονται πλέον δεδομένα «omics», τα οποία εκ των προτέρων οδηγούν στην κατανόηση της σχέσης γονότυπου-φαινότυπου. Μια σημαντική προϋπόθεση είναι ότι γενετικά, μικροβιακά, πρωτεομικά, μεταβολικά, κλινικά και συμπεριφορικά στοιχεία χαρακτηρίζουν τους ασθενείς και

την υγεία τους. Τα σύνολα των δεδομένων μπορούν να ξεπεράσουν αυτήν την εγγενή μεταβλητότητα μεταξύ των ατόμων για την ακριβέστερη λήψη κλινικών αποφάσεων και την επιλογή των παρεμβάσεων.

Μια προσέγγιση για την πραγματοποίηση των δυνατοτήτων της ιατρικής ακριβείας είναι η έννοια του ψηφιακού δίδυμου, σύμφωνα με την οποία η θεραπεία για τον ασθενή βασίζεται στη χρήση ενός εικονικού αντιγράφου (το ψηφιακό δίδυμο) για την πρόβλεψη του αποτελέσματος της θεραπείας και την εξατομικευμένη πρόγνωση για έναν ασθενή (το δίδυμο της πραγματικής ζωής). Οι αναλυτικοί αλγόριθμοι εξάγουν, αποθηκεύουν και ενσωματώνουν τα δεδομένα που αποκτώνται από πολλαπλές πηγές για τον εντοπισμό αλλαγών, τάσεων και μοτίβων, πρόβλεψη και διάγνωση αποτυχιών και δοκιμή εναλλακτικών αποφάσεων. Έτσι, ένα ατομικό ψηφιακό δίδυμο υγείας λαμβάνει μια ποικιλία παραμέτρων και δεδομένων που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων και σε προγνωστικές αξιολογήσεις για έναν ασθενή στην πραγματική ζωή.

Η συνολική κατασκευή επικεντρώνεται σε μια τράπεζα δεδομένων που βασίζεται στον πληθυσμό που περιλαμβάνει δύο τύπους δεδομένων. Πρώτον, ο βαθύς φαινοτυπισμός, όπως προέρχεται από το ηλεκτρονικό αρχείο υγείας, που περιλαμβάνει βιολογικά, κλινικά, γενετικά, μοριακά και απεικονιστικά δεδομένα. Δεύτερον, ο φαινοτυπισμός των δεδομένων του πραγματικού κόσμου από το περιβάλλον του ατόμου, με τη χρήση αισθητήρων δεδομένων κινητής τηλεφωνίας και φορητών συσκευών. Η αφομοίωση αυτών των συνεχώς αποκτημένων πολλαπλών πηγών δεδομένων σε κλινικά σημαντική γνώση λαμβάνει χώρα μέσω μιας αυτοματοποιημένης, επαναληπτικής διαδικασίας προ-επεξεργασίας δεδομένων, εξαγωγής και ενσωμάτωσης δεδομένων, που παράγει περισσότερες χρήσιμες πληροφορίες από οποιαδήποτε μεμονωμένη πηγή δεδομένων.

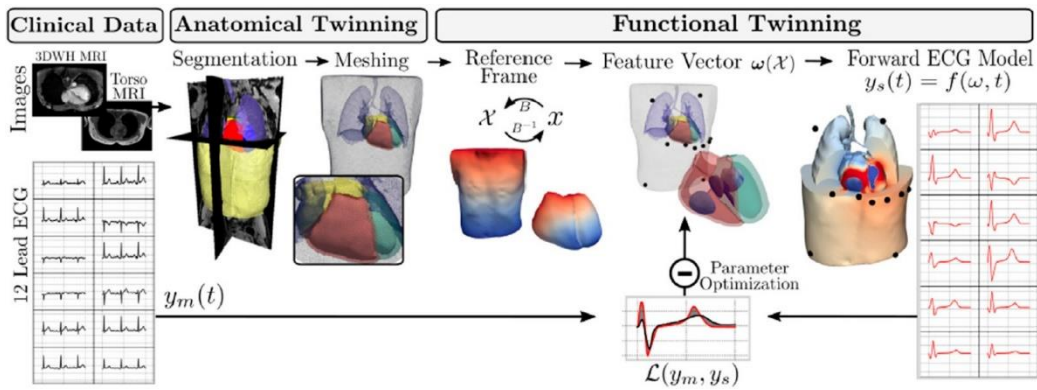
Στην καρδιολογία αυτά τα φαινοτυπικά δεδομένα για ένα ψηφιακό δίδυμο αναλύονται σε προγνωστικό πλαίσιο που περιλαμβάνει συνδυασμένα στατιστικά και μηχανιστική μοντελοποίηση που επιτρέπει τη συλλογιστική στο δίδυμο. Από εντός της τράπεζας δεδομένων που βασίζονται στον πληθυσμό, ένας ασθενής στην πραγματική ζωή έχει ψηφιακό δίδυμο που αντιπροσωπεύει τα μέσα χαρακτηριστικά του ή την πλησιέστερη ομάδα χαρακτηριστικών του. Στη συνέχεια το αποτέλεσμα εικονικών παρεμβάσεων δίνεται στον ασθενή της πραγματικής ζωής, ενώ

ανατροφοδοτεί την τράπεζα δεδομένων για την τροποποίηση του διδύμου και την προσθήκη νέων δεδομένων. Αυτή η διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας για την επέκταση της τράπεζας δεδομένων και τη διασφάλιση της ποικιλόμορφης φυσιολογικής και δημογραφικής σύνθεσης του πληθυσμού. (Genevieve Coorey , et al., 2022)

Στην υγειονομική περίθαλψη, η δημιουργία ψηφιακών διδύμων που μιμούνται ένα ανθρώπινο όργανο έχει μεγάλη διάδοση στην καρδιαγγειακή έρευνα. Πολλαπλοί τύποι δεδομένων συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ένα καρδιακό ψηφιακό δίδυμο (CDT), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή - παρακολούθηση και για στρατηγικές θεραπείας για τον ασθενή. (Εικόνα 3). Η διαδικασία δημιουργίας ενός CDT μπορεί να χωριστεί σε δύο διακριτά στάδια: τα στάδια ανατομικής και τα στάδια λειτουργικής αδελφοποίησης. Το στάδιο της ανατομικής αδελφοποίησης αποτελείται από τη δημιουργία ενός πολύ λεπτομερούς τρισδιάστατου αντιγράφου του φυσικού δίδυμου, με βάση αξονικές ή μαγνητικές τομογραφίες του ασθενούς (Gillette, K., et al., 2021).

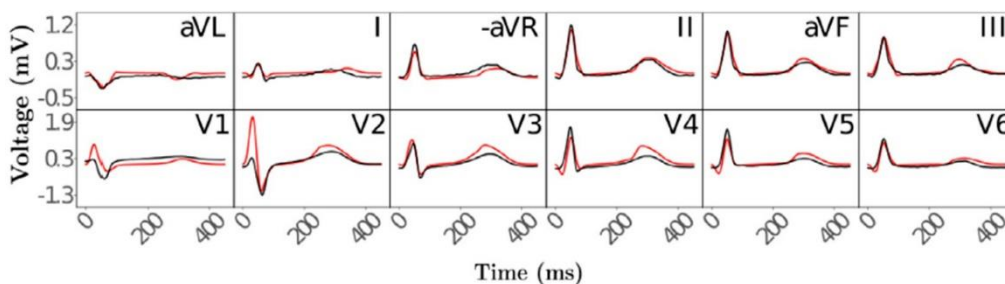
Αυτό το καρδιακό 3D πλέγμα βασίζεται σε καθολικές κοιλιακές συντεταγμένες. Αυτό το μοντέλο ουσιαστικά περιγράφει τη θέση συγκεκριμένων καρδιακών περιοχών, όπως η κορυφή ή το διάφραγμα και μπορεί να υπολογιστεί αυτόματα με σχετικά λίγα δεδομένα εισόδου. Απαιτεί ένα σημείο επιφάνειας επικαρδιακής κορυφής, σημείο επιφάνειας ενδοκαρδιακής αριστερής κοιλίας, δεξιά κοιλία, σημείο επιφάνειας του διαφράγματος και σημεία επιφάνειας της κοιλιακής βάσης για τον υπολογισμό της κοιλίας, συντεταγμένες της βάσης της καρδιάς, του επικαρδίου, του αριστερού κοιλιακού ενδοκαρδίου και του δεξιού κοιλιακού ενδοκαρδίου και του διαφράγματος. Ο αλγόριθμος UVC είναι επίσης ικανός να υπολογίζει συντεταγμένες για ορισμένα ανοίγματα καρδιακών βαλβίδων (Bayer, J., et al., 2018).

Μια παρόμοια προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χάρτης δημιουργώντας ένα πολύ λεπτομερές τρισδιάστατο αντίγραφο του φυσικού δίδυμου, βασισμένο σε σαρώσεις αξονικής ή μαγνητικής τομογραφίας του ασθενούς. (Gillette, K., et al, 2021)



Σχήμα 11: Schematic of workflow for CDT generation. MRI data is segmented and used to create anatomical meshes. A reference frame (X) is computed based on UVC and UTC. ECG waveforms generated with a forward ECG model are compared to clinically measured 12-lead ECG data for optimization of the model parameters contained in $w(X)$. (Gillette, K., et al., 2021)

Το δεύτερο στάδιο στη δημιουργία του CDT, η λειτουργική αδελφοποίηση, καλύπτει την ηλεκτροφυσιολογία της καρδιάς. Τέσσερις παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τις κυματομορφές του Ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ΗΚΓ) κατά την ενεργοποίηση και την επαναπόλωση ορίστηκαν μαθηματικά: η εκπόλωση που προκαλείται από το σύστημα His-Purkinje και η κατανομή στο υποενδοκάρδιο, η ταχύτητα αγωγής εντός των κοιλιών, η χωρικά μεταβαλλόμενη διάρκεια του δυναμικού δράσης και η αγωγιμότητα του κορμού, που περιβάλλει την καρδιά. Η ηλεκτροφυσική δραστηριότητα του ανατομικού πλαισίου αναφοράς προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο ΗΚΓ γρήγορης προώθησης και συγκρίθηκε με κλινικές μετρήσεις ΗΚΓ 12 απαγωγών (Εικόνα 4). Αυτές οι συγκρίσεις δείχνουν ότι με αυτήν τη μέθοδο αδελφοποίησης δύο σταδίων, η καρδιακή ηλεκτροφυσιολογία μπορεί να προσομοιωθεί αυτόματα και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.



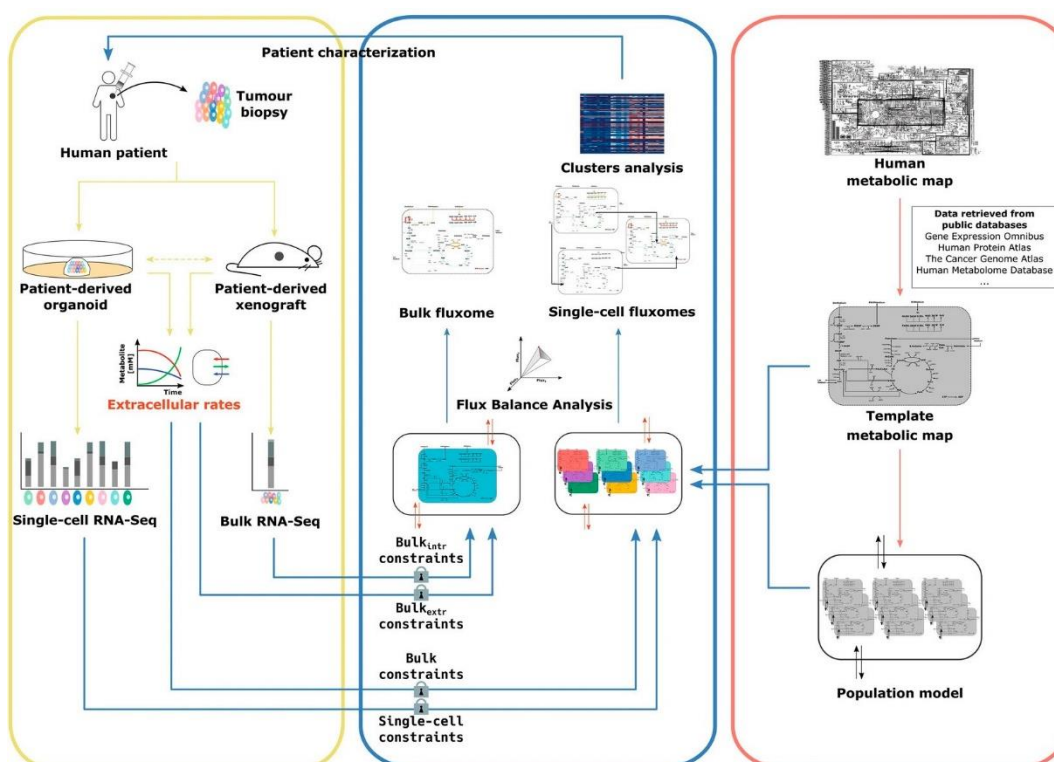
Σχήμα 12: Simulated ECGs (red) compared to measured reference ECGs (black) after obtaining optimal parameter values. Electrodes were placed and simulated according to the 12-lead ECG setup. (Gillette, K., et al., 2021)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

10.1. ΚΥΤΤΑΡΟΜΕΤΡΙΑ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

Εκτός από μετρήσεις ειδικών οργάνων, όπως η ηλεκτροφυσιολογία της καρδιάς και τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, οι τεράστιες ποσότητες δεδομένων που παράγονται στην ωμική έρευνα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων. Στην έρευνα για τον καρκίνο, τα μονοκύτταρα ψηφιακά δίδυμα βασίζονται στη μεταβολομική και το fluxomics, ενώ η ανάλυση της παραγωγής και κατανάλωσης μεταβολιτών έχουν προταθεί ως εργαλείο για την καλύτερη διάκριση μεταξύ των φαινοτύπων του καρκίνου. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μονοκυττάρου ψηφιακού δίδυμου ενσωματώνει δεδομένα αλληλουχίας μονοκυττάρου RNA (scRNA) και ροές εξωκυτταρικών μεταβολιτών για τη διαμόρφωση μιας άποψης του μεταβολικού φαινοτύπου ενός κυττάρου ανά πάσα στιγμή (Filippo, M.D., et al., 2020)

Το μοντέλο ανάλυσης ισορροπίας ροής ενός κυττάρου (scFBA) απαιτεί τρεις τύπους εισόδου.



Σχήμα 13: Schematic overview of the scFBA workflow. Single-cell RNA-seq and bulk RNA-seq are performed on patient-derived organoids or xenografts. Extracellular metabolite exchange rates are also measured. A template metabolic network is imported from a public database. The bulk RNA and flux data are integrated to form a population model.

Single-cell networks can be computed by incorporating bulk constraints based on bulk data, and single-cell constraints based on the single-cell RNA-seq data. (Filippo, M.D., et al., 2020)

Πρώτον, χρειάζεται ένα πρότυπο μεταβολικό δίκτυο, που να περιγράφει τους διαφορετικούς μεταβολίτες, τις βιοχημικές αντιδράσεις τους και την κατανάλωση ή έκκρισή τους. (Filippo, M.D., et al., 2020). Το πλήρες ανθρώπινο μεταβολικό δίκτυο έχει ανακατασκευαστεί ενσωματώνοντας φαρμακογονιδιωματικές συσχετίσεις, μεγάλης κλίμακας φαινοτυπικά δεδομένα και δομικά δεδομένα για πρωτεΐνες και μεταβολίτες. Οι μεταβολικές ροές σε αυτό το δίκτυο έχουν προβλεφθεί από μοντέλα που έχουν επίσης τροφοδοτηθεί με δεδομένα από άλλες ωμικές αναλύσεις, που περιγράφουν τις οδούς που εκφράζονται σε οποιοδήποτε δεδομένο κύτταρο ή ιστό. (Brunk, E., et al., 2018).

Δεύτερον, στο μοντέλο scFBA δίνεται ένα σύνολο δεδομένων scRNA-seq που περιέχει τον κανονικοποιημένο αριθμό ανάγνωσης κάθε γονιδίου σε κάθε κύτταρο στην ανάλυση. Τέλος, οι εξωκυτταρικές ροές στον κυτταρικό πληθυσμό των ασθενών προσεγγίζονται από τη μέτρηση των συγκεντρώσεων μεταβολίτη στο μέσο κυτταροκαλλιέργειας του οργανοειδούς ή του ξενομοσχεύματος που προέρχεται από τον ασθενή.

Η διοχέτευση scFBA ξεκινά με την προ-επεξεργασία, αφαιρώντας γονίδια με μηδενικό αριθμό ανάγνωσης από το μεταβολικό δίκτυο του προτύπου. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένα μοντέλο πληθυσμού. Αυτό το μοντέλο δημιουργείται με την ενσωμάτωση όλων των δεδομένων RNA όλων των διαθέσιμων κυττάρων στο δίκτυο μεταβολιτών του προτύπου. Το δίκτυο που προκύπτει αντιστοιχεί στο scRNA του μέσου κυττάρου στο δείγμα και αντιγράφεται για να παραχθεί ένα μοντέλο πληθυσμού που αποτελείται από αντίγραφα του μοναδικού μεταβολικού δικτύου. Όλα τα κύτταρα του πληθυσμού έχουν τώρα το ίδιο σύνολο μεταβολιτών με το δίκτυο προτύπων. Κάθε δίκτυο μιας κυψέλης μπορεί να ανακατασκευαστεί με την εισαγωγή αντιδράσεων συνεργασίας, οι οποίες επιτρέπουν την ανταλλαγή μεταβολιτών μεταξύ των κυττάρων και με το περιβάλλον. Αυτές οι αντιδράσεις στη συνέχεια συνδέονται με τα δεδομένα scRNA μέσω κανόνων που εκφράζονται λογιστικά. Ο τελεστής «AND» χρησιμοποιείται για να περιγράψει γονίδια που κωδικοποιούν διαφορετικές υπομονάδες του ίδιου ενζύμου, ενώ ο τελεστής «OR» περιγράφει γονίδια που

κωδικοποιούν ισομορφές του ίδιου ενζύμου. Αυτοί οι λογικοί τελεστές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον υπολογισμό των βαθμολογιών δραστηριότητας αντίδρασης για κάθε αντίδραση. Αυτές οι βαθμολογίες αντιπροσωπεύουν την έκφραση των γονιδίων σε μεταγραφές ανά εκατομμύριο κιλοβάσης. Για τις αντιδράσεις που προκαλούνται από γονίδια που συνδέονται μόνο μέσω του τελεστή AND, όλα τα γονίδια είναι απαραίτητα. Αυτό σημαίνει ότι η βαθμολογία δραστηριότητας αντίδρασης μπορεί να οριστεί ως η έκφραση του λιγότερο εκφραζόμενου γονιδίου που είναι απαραίτητο για να συμβεί αυτή η αντίδραση. Εάν τα γονίδια που εμπλέκονται στην αντίδραση συνδέονται μόνο μέσω του τελεστή OR, η βαθμολογία δραστηριότητας υπολογίζεται ως το άθροισμα των τιμών έκφρασης.

Αφού υπολογιστούν το μοντέλο πληθυσμού και οι βαθμολογίες δραστηριότητας αντίδρασης για κάθε κύτταρο, επιβάλλονται περιορισμοί όγκου και μονοκυττάρου. Αυτά αντιπροσωπεύουν όρια στις ανταλλαγές μεταβολιτών με το περιβάλλον και εντός των κυττάρων με βάση τις βαθμολογίες δραστηριότητας της αντίδρασής τους, αντίστοιχα. Το μοντέλο, που τώρα περιγράφει την ανταλλαγή μεταβολιτών μεταξύ μεμονωμένων κυττάρων και του περιβάλλοντος, περιορισμένο από τις βαθμολογίες δραστηριότητας αντίδρασης για κάθε κύτταρο, καθώς και από τα όρια που τίθενται μέσω μετρήσεων ολόκληρου του δείγματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της επίδρασης διαγραφών μεμονωμένων γονιδίων. Οι αντιδράσεις που σχετίζονται με αυτό το γονίδιο που συνδέεται μόνο με άλλα γονίδια από τον χειριστή AND θα πρέπει να απενεργοποιηθούν με τη διαγραφή. Αυτές οι αντιδράσεις αφαιρούνται από το δίκτυο και το μοντέλο πληθυσμού βελτιστοποιείται εκ νέου για τη συνολική παραγωγή βιομάζας. Αυτό επιτρέπει την ανάλυση της επίδρασης μεμονωμένων γονιδίων στην ανάπτυξη του όγκου σε ένα ειδικό για τον ασθενή κυτταρικό σύστημα, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στον εντοπισμό γονιδίων ή συστάδων κυττάρων που μπορούν να αξιοποιηθούν για την απορρύθμιση του μεταβολισμού του καρκίνου. (Filippo, M.D., et al., 2020)

Η χρήση της κυτταρομετρίας ροής επεκτάθηκε ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες χάρη στην ανάπτυξη μικρότερων, φιλικών προς τον χρήστη, αλλά και λιγότερο κοστοβόρων κυτταρομετρητών με αποτέλεσμα η εφαρμογή της τεχνολογίας να είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη σε πολυάριθμες κλινικές και ιατρικά κέντρα, συμπληρώνοντας τη διαγνωστική αλλά

και ερευνητική διαδικασία. Η αξιολόγηση της σκέδασης του φωτός αποκαλύπτει πληροφορίες για τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του κυττάρου, ενώ η εκτίμηση των εκπεμπόμενων χρωματικών συχνοτήτων από τιτλοδοτημένα φθορίζοντα αντισώματα μπορεί να συνθέσει το αντιγονικό προφίλ αυτού. Λόγω των παραπάνω δυνατοτήτων, η κυτταρομετρία ροής αποδεικνύεται ισχυρότατο εργαλείο στην λεπτομερή ανάλυση σύνθετων κυτταρικών πληθυσμών σε μικρό χρονικό διάστημα.

Η κυτταρομετρία ροής πλέον χρησιμοποιείται στην ανοσοφαινοτυποποίηση μίας ευρείας ποικιλίας δειγμάτων, όπως ολικού αίματος, μυελού των οστών, εγκεφαλονωτιαίου υγρού, ούρων καθώς και στερεών δειγμάτων αξιολογώντας χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος των κυττάρων, τη σύνθεση του κυτταροπλάσματος, το περιεχόμενο DNA και RNA και ένα εύρος διαμεμβρανικών και εσωκυττάρων πρωτεϊνών. Η δυνατότητα της λεπτομερέστερης απόδοσης της πληθώρας παραμέτρων που συνθέτουν το βιολογικό προφίλ μίας κυτταρικής ομάδας, σε συνεργασία με τις μοριακές, χημικές και μικροσκοπικές μεθοδολογίες που εντοπίζονται στα σύγχρονα αιματολογικά και ανοσολογικά εργαστήρια προσφέρει στο ιατρικό προσωπικό την ικανότητα να αποδίδει ακόμη πιο ολοκληρωμένες διαγνωστικές εικόνες και συνεπώς πιο ολοκληρωμένες θεραπευτικές αγωγές.

Η χρήση της μεθοδολογίας στην διάγνωση των αιματολογικών κακοηθειών, στην παρακολούθηση και διάγνωση της πορείας λοίμωξης από τον ιό HIV, κλπ. αναμφίβολα επέτρεψε την ακριβή αξιολόγηση των παθολογικών αυτών καταστάσεων, αλλά και την παρακολούθηση και αντιμετώπιση αυτών μέσω νέων θεραπευτικών αγωγών όπως ο εντοπισμός, η καταμέτρηση και η μεταμόσχευση αρχέγονων αιμοποιητικών κυττάρων, αξιοποιώντας τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας, δηλαδή τη στόχευση μέσω χρήσης των κυτταρικών δεικτών, καθώς και την ικανότητα καταμέτρησης, αλλά και διάκρισης κυτταρικών πληθυσμών βάση των φυσικών τους χαρακτηριστικών. Η ικανότητα ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης συγκεκριμένων κυτταρικών πληθυσμών αναλόγως των παραμέτρων που ορίζει η εκάστοτε εξέταση με μεγαλύτερη ταχύτητα αλλά και ακρίβεια από οποιαδήποτε άλλη συμβατική μέθοδο, εμπλουτίζει τη διαγνωστική αλλά και ερευνητική διαδικασία επιτρέποντας την παρακολούθηση των φυσιολογικών, αλλά και παθολογικών κυτταρικών μορφών σε όλα τα στάδια των κυτταρικών κύκλων και διαφοροποιήσεων. Οι πληροφορίες αυτές όχι μόνο αποκαλύπτουν την ταυτότητα των κυτταρικών

σειρών που νοσοούν, αλλά και προειδοποιούν για την πορεία της νόσου επιτρέποντας έγκυρες διαγνωστικές προβλέψεις, οι οποίες μπορούν να έχουν τεράστιο αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής ενός ασθενή.

Η τεχνολογία της κυτταρομετρίας ροής αναπτύσσεται συνεχώς και με αλματώδεις ρυθμούς οδηγώντας στην εμφάνιση φθοριοχρωμάτων μεγαλύτερης ευαισθησίας, μικρότερων κυτταρομετρητών μεγαλύτερης ακρίβειας, καθώς και δοκιμασίες με ανανεωμένες κλινικές εφαρμογές. Τα μειονεκτήματα χρήσης της τεχνολογίας μειώνονται με την αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως την ανάλυση μεγάλων σωματιδίων, τη δημιουργία πηγμάτων και την πολυπλοκότητα της χρήσης μέσω πιο εξειδικευμένου τεχνολογικού εξοπλισμού και της ανάπτυξης πιο φιλικών προς τον χρήστη συσκευών, ενώ παράλληλα εισάγεται περαιτέρω αυτοματοποίηση στη ροή εργασίας και στην καταγραφή των αποτελεσμάτων αυξάνοντας την ταχύτητα της ανάλυσης και μειώνοντας τον παράγοντα ανθρώπινου λάθους μέσω εξειδικευμένων δικλίδων ασφαλείας. Όσο τα αναλυτικά εργαλεία του πεδίου των ιατρικών επιστημών αυξάνουν την σφαίρα της αντίληψης της λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού στο κυτταρικό και μοριακό επίπεδο, τόσο πιο ολοκληρωμένη μπορεί να είναι η μελέτη της παθολογίας αυτού και συνεπώς η θεραπεία και η πρόληψη.

Η κυτταρομετρία ροής αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στα κλινικά και ερευνητικά εργαστήρια, προσφέροντας την δυνατότητα αναλύσεων υψηλής ευαισθησίας και ακρίβειας. Αρχικά, η μεθοδολογία χρησιμοποιούταν κυρίως στον τομέα της έρευνας, όμως η εξέλιξη της τεχνολογίας των λειτουργικών μέσων καθώς και η ανάπτυξη αποτελεσματικότερων αντιδραστηρίων οδήγησε στην υιοθέτηση της μεθοδολογίας στα κλινικά αιματολογικά και ανοσολογικά εργαστήρια και συνεπώς στη χρήση της ως διαγνωστικής μεθόδου.

Οι κυτταρομετρητές ροής αξιολογούν τα δεδομένα που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση ακτινοβολίας laser με την επιφάνεια των κύτταρων προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά των κυττάρων, καθώς και τη δυνατότητα αποκόμισης περισσότερων δεδομένων με τη χρήση φθοριοχρωμάτων, σφαιριδίων latex, και μονοκλωνικών αντισωμάτων. Η φύση της μεθόδου δίνει τη δυνατότητα διενέργειας διαφόρων τύπων ανάλυσης, όπου

αξιολογούνται ταυτόχρονα πολλές παράμετροι, όπως για παράδειγμα η ύπαρξη αντιγόνου, η ποσότητα έκφρασης αντιγόνων, καθώς και η αξιολόγηση του γενετικού υλικού των κυττάρων.

Οι κυτταρομετρητές ροής χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως στα αιματολογικά και ανοσολογικά κλινικά εργαστήρια, βρίσκοντας εφαρμογή στη μελέτη, διάγνωση και παρακολούθηση μίας ευρείας γκάμας ιατρικών ζητημάτων, όπως τη διάγνωση και κατάταξη των αιματολογικών νεοπλασιών, την απομόνωση και μεταμόσχευση αρχέγονων αιμοποιητικών κυττάρων, τη διάγνωση διαταραχών μεμονωμένων κυτταρικών σειρών όπως των αιμοπεταλίων, τη μελέτη και παρακολούθηση των καθ' έξιν αποβολών, καθώς και τη διάγνωση και παρακολούθηση ασθενών με AIDS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο

11.1. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΑΡΜΑΚΩΝ

Τα ψηφιακά δίδυμα υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της θεραπείας, την προσομοίωση διαφόρων γεγονότων ή τον ψηφιακό έλεγχο των επιπτώσεων της απουσίας, για παράδειγμα, μιας συγκεκριμένης πρωτεΐνης. Οι διαφορετικοί στόχοι απαιτούν διαφορετικές στατιστικές μεθόδους και, όπως και κατά τη δημιουργία των διδύμων, η ταχύτητα και η ακρίβεια είναι βασικές για τη δημιουργία βιώσιμων ψηφιακών διπλών εφαρμογών.

Κατά τη διάρκεια κλινικών δοκιμών μιας νέας θεραπείας, η αποτελεσματικότητα της νέας θεραπείας συνήθως ελέγχεται έναντι μιας τυπικής θεραπείας ή ενός εικονικού φαρμάκου όταν χορηγείται σε ένα τυχαίο δείγμα του πληθυσμού. Ωστόσο, η νέα θεραπεία θα μπορούσε να είναι πιο ωφέλιμη μόνο για μια επιλεγμένη υποομάδα ασθενών του δείγματος. Αξίζει να καταβληθεί προσπάθεια για την ανάλυση των χαρακτηριστικών που καθορίζουν αυτή την υποομάδα, για να γίνει κατανοητό γιατί η θεραπεία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για αυτούς. (Foster, J.C., et al., 2011). Αν και είναι γνωστό ότι η επιλογή μερικών χαρακτηριστικών για τη δημιουργία υποομάδων είναι επιρρεπής στην εύρεση ψευδώς θετικών στοιχείων, διάφορες στατιστικές μέθοδοι έχουν δείξει ότι είναι ικανές για αυτήν την εργασία. (Brookes, S.T., et al., 2001)

Η κλασική μέθοδος συνίσταται στην προσαρμογή ενός μοντέλου παλινδρόμησης που βασίζεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ θεραπειών και δεδομένων ασθενών. Ένα μειονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι ότι δεν είναι κατάλληλο για χρήση με σύνολα δεδομένων που περιέχουν πολλές διαφορετικές μεταβλητές, καθώς θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές διαφορετικές πιθανές αλληλεπιδράσεις. (Kehl, V., Ulm, K., 2006). Για τον λόγο αυτό έχουν δοκιμαστεί πολλοί νέοι αλγόριθμοι για τον καθορισμό των ορίων μιας συγκεκριμένης υποομάδας.

Μια μέθοδος βασίζεται στη χρήση random forests και τυχαίων δέντρων παλινδρόμησης ή ταξινόμησης για να δοθεί προτεραιότητα σε συμμεταβλητές που προβλέπουν ποιοι ασθενείς θα

ωφεληθούν περισσότερο από μια θεραπεία. Πρώτον, τα random forests εφαρμόζονται στα δεδομένα που λαμβάνουν τις μεταβλητές τιμές, συμπεριλαμβανομένης της ομάδας θεραπείας ως εισόδου και δίνουν την πιθανότητα ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος ως εξόδου. Το εκτιμώμενο αποτέλεσμα της θεραπείας υπολογίζεται στη συνέχεια αφαιρώντας την πιθανότητα θετικής έκβασης υπό έλεγχο από τη θετική έκβαση μετά τη θεραπεία. Έτσι, μια υψηλή εκτιμώμενη τιμή θεραπείας - αποτελέσματος σημαίνει ότι η θεραπεία επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τις πιθανότητες των ασθενών για θετική έκβαση. Στη συνέχεια, οι μεταβλητές που έχουν ισχυρή επίδραση στην εκτιμώμενη τιμή θεραπείας - αποτελέσματος επιλέγονται είτε μέσω παλινδρόμησης είτε μέσω δέντρων ταξινόμησης.

Με τη μέθοδο του δέντρου παλινδρόμησης, δημιουργείται ένα δέντρο παλινδρόμησης με το εκτιμώμενο αποτέλεσμα θεραπείας ως απόκριση και τις μεταβλητές ως άλλα δεδομένα εισόδου. Αυτό το δέντρο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη και πάλι της τιμής του αποτελέσματος της θεραπείας για κάθε ασθενή και οι ασθενείς με υψηλή εκτιμώμενη τιμή ομαδοποιούνται. Οι μεταβλητές τιμές που οδηγούν σε αυξημένο αποτέλεσμα μπορούν να βρεθούν αναλύοντας το δέντρο και βρίσκοντας τις διαδρομές που οδηγούν σε τερματικούς κόμβους με υψηλές τιμές προβλεπόμενης επίδρασης (Foster, J.C., et al., 2011).

Με τη μέθοδο ταξινόμησης, η εκτιμώμενη τιμή θεραπείας - αποτελέσματος διχοτομείται με διαχωρισμό των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας μια τιμή κατωφλίου. Αυτή η δυαδική εκτιμώμενη τιμή επίδρασης θεραπείας χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του δέντρου ταξινόμησης που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των ασθενών σε ομάδες «χαμηλού αποτελέσματος» ή «υψηλού αποτελέσματος». Αυτό σημαίνει ότι κάθε μεταβλητή που χρησιμοποιείται από το δέντρο για να ταξινομήσει έναν ασθενή στην ομάδα «υψηλού αποτελέσματος» μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει ένα ψηφιακό δίδυμο. (Foster, J.C., et al., 2011).

Οι προσεγγίσεις του random forest και του δέντρου παλινδρόμησης, καθώς και το κλασικό μοντέλο, έχουν δοκιμαστεί σε δεδομένα από κλινική δοκιμή σε 1019 ασθενείς, 517 από τους οποίους έλαβαν την πειραματική θεραπεία, ενώ οι άλλοι έλαβαν εικονικό φάρμακο. Η κατάσταση του ασθενούς ήταν πιθανώς θανατηφόρα, επομένως η θετική έκβαση ορίστηκε ως η επιβίωση 28

ημέρες μετά τη λήψη της θεραπείας ή του εικονικού φαρμάκου. Τόσο η παλινδρόμηση όσο και η μέθοδος ταξινόμησης είχαν ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό μεταβλητών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της υποομάδας ασθενών στους οποίους η πειραματική θεραπεία ήταν ιδιαίτερα ευεργετική. Τα μοντέλα εντόπισαν τέσσερις μεταβλητές που επηρέασαν περισσότερο την εκτιμώμενη επίδραση της θεραπείας, τρεις από τις οποίες σχετίζονταν με τη σοβαρότητα της κατάστασης του ασθενούς. (Foster, J.C., et al., 2011). Σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές στην αποτελεσματικότητα της θεραπείας μεταξύ των ασθενών της υποομάδας και του μέσου ασθενή δεν ήταν αρκετά πειστικές ώστε να αποδειχθεί οριστικά ότι οι ασθενείς στην υποομάδα έχουν σημαντικά καλύτερη έκβαση.

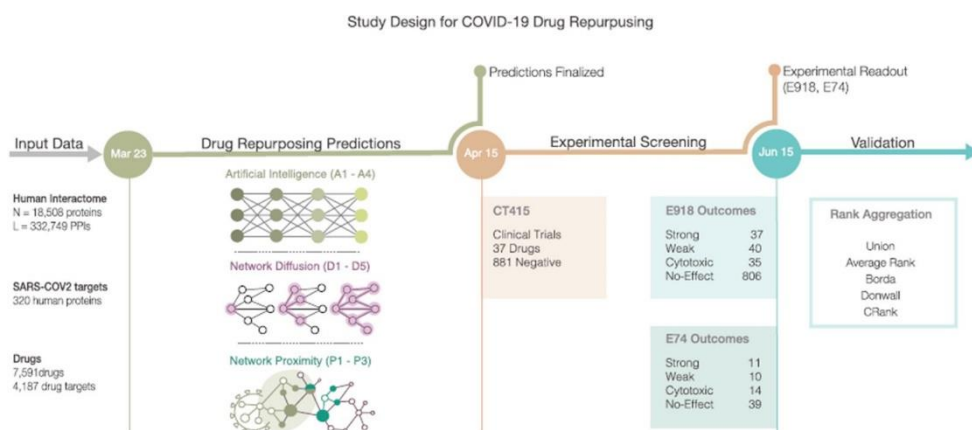
Ωστόσο, δείχνει ότι αυτές οι ψηφιακές διπλοκεντρικές μέθοδοι αποτελούν βελτίωση της κλασικής μεθόδου λογιστικής παλινδρόμησης όσον αφορά τον εντοπισμό και τον καθορισμό μιας υποομάδας ασθενών κατά τη διάρκεια κλινικών δοκιμών. Οι μέθοδοι είναι πιο κατάλληλες για μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων, ευκολότερες στην ερμηνεία και καλύτερες στον καθορισμό των ορίων υποομάδων. Εξελίξεις σαν αυτές είναι απαραίτητες για την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην έρευνα στον τομέα της υγείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12⁰

12.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΡΜΑΚΩΝ ΓΙΑ SARS-COV-2

Όταν ξεκίνησε η πανδημία SARS-CoV-2 (ή COVID-19), πραγματοποιήθηκε πολλή έρευνα για την εύρεση παραγόντων που θα μπορούσαν είτε να αποτρέψουν είτε να θεραπεύσουν μια λοίμωξη από COVID-19 σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Ένας γρήγορος τρόπος απόκτησης κατάλληλων φαρμάκων στην αγορά ήταν η εύρεση φαρμάκων που είχαν ήδη εγκριθεί για χρήση σε άλλη εφαρμογή υγειονομικής περίθαλψης και η επαναχρησιμοποίησή τους για θεραπεία για τον COVID. Μια μελέτη ξεκίνησε με την αναζήτηση φαρμάκων που εγκρίθηκαν για ασθένειες με παρόμοιο μοριακό αποτέλεσμα με το COVID-19 (Gysi, D.M., et al., 2021). Για να βρεθούν αυτά τα φάρμακα, 332 πρωτεϊνικοί στόχοι ξενιστή του κορωνοϊού χαρτογραφήθηκαν στην ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Από αυτούς τους στόχους, 208 αποδείχθηκε ότι ήταν συνδεδεμένοι στο δίκτυο αλληλεπίδρασης.

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι για τον εντοπισμό δυνητικά επαναχρησιμοποιήσιμων φαρμάκων για τη θεραπεία του COVID-19.



Σχήμα 14: Schematic of the workflow for identifying drugs that could be repurposed for COVID-19 treatment. An AI-based method, network diffusion, and network proximity were used to identify possibly repurposable drugs, which were then validated through comparison with various clinical trials. Various rank aggregation algorithms were used to rank the drugs, based on their results in the different pipelines. (Gysi, D.M., et al., 2021).

Πρώτον, χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος βασισμένος στο AI για τη χαρτογράφηση στόχων φαρμάκου - πρωτεΐνης και στόχων ασθένειας - πρωτεΐνης. Δεύτερον, ένας αλγόριθμος διάχυσης

κατέταξε τα διαθέσιμα φάρμακα με βάση την ικανότητά τους να επηρεάζουν τις οδούς που περιείχαν τους στόχους πρωτεΐνης SARS-CoV-2 στο δίκτυο. Τέλος, εφαρμόστηκε ένας αλγόριθμος εγγύτητας για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των στόχων πρωτεΐνης ξενιστή του SARS-CoV-2 και των πλησιέστερων πρωτεϊνών που στόχευαν τα φάρμακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο

13.1. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΚΑΙ DNA

Δίκτυα όπως αυτά που δημιουργούνται με το scFBA μπορούν να δημιουργηθούν και να εφαρμοστούν σε ψηφιακούς διπλούς υπολογισμούς και για άλλα δεδομένα -omics. Οι αλληλεπιδράσεις των πρωτεϊνών μπορούν να μελετηθούν μέσω πολλαπλών τεχνικών. Οι μέθοδοι δύο υβριδίων ζυμομύκητα και οι μέθοδοι LUMIER μπορούν να εφαρμοστούν και οι δύο για τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο συγκεκριμένων πρωτεϊνών. (Chien, C.T., et al., 1991), (Barrios-Rodiles, M., et al., 2005). Μια πλατφόρμα υψηλής απόδοσης που συνδυάζει ανοσοκατακρήμνιση και φασματομετρία μάζας υψηλής απόδοσης (IP-HTMS) είναι ικανή να εντοπίζει γρήγορα νέες πρωτεϊνικές αλληλεπιδράσεις για μια πρωτεΐνη ενδιαφέροντος.

Για να καταδειχθεί η ροή εργασίας IP-HTMS, 407 πρωτεΐνες «δολώμα» που ενδιαφέρουν επισημάνθηκαν και απομονώθηκαν, μαζί με τυχόν αλληλεπιδρώντες συνεργάτες «θηράματος», μέσω ανοσοκατακρήμνισης. Οι πρωτεΐνες στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε SDS-PAGE και φασματομετρία μάζας για ταυτοποίηση. Όλες οι πρωτεΐνες και τα πεπτιδία που συσχετίστηκαν με την ίδια πρωτεΐνη δολώματος συγκεντρώθηκαν και επιλέχθηκε μια πρωτεΐνη «αγκύρωσης» για κάθε ομάδα ταξινομώντας τις πρωτεΐνες εντός της συστάδας με βάση τον αριθμό των πεπτιδίων. Οι αλληλεπιδράσεις που ήταν μη ειδικές, οι αλληλεπιδράσεις δολώματος-δολώμα και οι αλληλεπιδράσεις με τις μολυσματικές πρωτεΐνες αφαιρέθηκαν από το δίκτυο αλληλεπίδρασης.

Διάφορες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία ενός μέτρου εμπιστοσύνης στις αλληλεπιδράσεις δολώματος-θηράματος και τα ζεύγη υψηλής βαθμολογίας αναλύθηκαν περαιτέρω ενσωματώνοντας άλλους τύπους γονιδιωματικών πληροφοριών, όπως έκφραση γονιδίου, υποκυτταρική θέση και λειτουργία. Με αυτόν τον αγωγό, πολλές αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών μπορούν να μελετηθούν γρήγορα για τη δημιουργία πολύπλοκων δικτύων αλληλεπίδρασης πρωτεΐνης-πρωτεΐνης. (Ewing, R.M., et al., 2007). Δίκτυα όπως αυτά μπορούν να παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σε ανθρώπινα ψηφιακά δίδυμα, καθώς επιτρέπουν σε βάθος ανάλυση των επιπτώσεων της απουσίας ή αφθονίας συγκεκριμένων πρωτεϊνών, η οποία μπορεί

να οδηγήσει στην κατανόηση εμφάνισης ορισμένων ασθενειών, καθώς και στον εντοπισμό πιθανών στόχων για θεραπεία.

Οι αλληλεπιδράσεις πρωτεΐνης-DNA μπορούν επίσης να αναλυθούν, αν και τα ρυθμιστικά δίκτυα είναι πιο ελλιπή σε σύγκριση με τα δίκτυα αλληλεπίδρασης πρωτεΐνης-πρωτεΐνης, τα μεταβολικά δίκτυα και τα δίκτυα RNA. (Barabási, A., et al., 2011). Η ανοσοκατακρήμνιση χρωματίνης (ChIP), σε συνδυασμό με τον προσδιορισμό αλληλουχίας επόμενης γενιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση πρωτεϊνών που συνδέονται με το DNA, καθώς και της αλληλουχίας DNA με την οποία συνδέονται. Αυτή η πληροφορία μπορεί να εξηγήσει την επίδραση μιας αλλοιωμένης αλληλουχίας DNA εάν, για παράδειγμα, έχει ως αποτέλεσμα ένας μεταγραφικός παράγοντας να μην μπορεί να αλληλεπιδράσει με το DNA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14^ο

14.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΚΑΙ COVID 19

Τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για τη διαχείριση και την πρόβλεψη των εστιών του Covid 19. Παρέχοντας ένα λεπτομερές μοντέλο για κάθε ασθενή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί ποια μέθοδος φροντίδας θα είναι πιο αποτελεσματική για το συγκεκριμένο άτομο. Η βελτίωση της εμπειρίας των ασθενών και της παροχής φροντίδας θα συμβάλει στη μείωση της ζήτησης υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης και στη βελτίωση της διαχείρισης των περιστατικών ασθενών με Covid 19 από τα νοσοκομεία.

Στο σημείο αυτό της εργασίας παρουσιάζεται η έρευνα με τον τίτλο «A Scoping Review of Digital Twins in the Context of the Covid-19 Pandemic” των Asiya Khan , Madison Milne-Ives, Edward Meinert, Gloria E Iyawa, Ray B Jones and Alex N Josephraj.

Τα θέματα που εξετάζονται είναι: 1) Πόσο αποτελεσματικά είναι τα ψηφιακά δίδυμα στην πρόβλεψη και τη διαχείριση μολυσματικών ασθενειών, όπως ο Covid-19 και 2) Ποιες είναι οι προοπτικές και οι προκλήσεις που συνδέονται με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη.

Η πανδημία Covid-19 υπογραμμίζει την ανάγκη ικανότητας πρόβλεψης, και συνεπώς καλύτερης διαχείρισης εξάρσεων μολυσματικών ασθενειών. (European Commission | Community Research and Development Information Service (CORDIS). Using prediction models to manage the coronavirus outbreak. Published April 1, 2020. Accessed October 20, 2020. <https://cordis.europa.eu/article/id/415792-using-prediction-models-to-manage-the-coronavirus-outbreak>). Μια πιθανή τεχνολογία που θα μπορούσε να προσφέρει ένα μέσο αντιμετώπισης αυτής της πρόκλησης και τη βελτίωση της διαχείρισης του νοσοκομείου και της ποιότητας της περίθαλψης είναι ένα σύστημα Digital Twin. Η δυνατότητα των ψηφιακών διδύμων να βελτιώσουν τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης διερευνάται όλο και περισσότερο.

Επιπροσθέτως, διερευνάται όλο και περισσότερο η δυνατότητα των ψηφιακών διδύμων να βελτιώσουν τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. (Björnsson B., et al., 2019), (Erol T, et al., 2020)

Για παράδειγμα, πραγματοποιούνται έρευνες με σκοπό την εξατομικευμένη βελτίωση της υγείας των ανθρώπων με επίκεντρο τις διατροφικές απαιτήσεις (Gkouskou K, et al., 2020) και χρησιμοποιούνται μέθοδοι για τη μοντελοποίηση κάθε σχετικού στοιχείου από τα όργανα του ασθενούς μέχρι ένα ολόκληρο νοσοκομείο. (Croatti A, et al., 2020) και (Barricelli BR, et al., 2019)

Η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων αναδεικνύεται ως βασικό εργαλείο για τη στροφή προς ένα πιο «ασθενοκεντρικό» και εξατομικευμένο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης. (Björnsson B., et al., 2019), (Gkouskou K, et al., 2020).

Η έρευνα για τα DT στην υγεία και την περίθαλψη κερδίζει δυναμική σε τομείς όπως η εξατομικευμένη φροντίδα, η διαχείριση χρόνιων παθήσεων, (Walsh JR, et al., 2020), (Croatti A, et al., 2020) και βελτίωση της διαχείρισης των έκτακτων περιστατικών δημόσιας υγείας. (Rodríguez-Aguilar R, Marmolejo-Saucedo J-A., 2020).

Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται επίσης για τη βελτίωση της διαχείρισης και της ζήτησης του νοσοκομείου, με στόχο τη βελτίωση της εμπειρίας του ασθενούς και της παροχής φροντίδας. (Karakra A, et al., 2019).

Ένας άλλος τομέας όπου αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε δυνητικά να έχει σημαντικό θετικό αντίκτυπο στην υγεία είναι η πρόβλεψη και η διαχείριση των εστιών μολυσματικών ασθενειών. Ο νέος κορωνοϊός αποκάλυψε την ανετοιμότητα σχεδόν όλων των χωρών για μια παγκόσμια πανδημία που έχει οδηγήσει (από 15 Δεκεμβρίου 2021) σε πάνω από 271 εκατομμύρια περιπτώσεις και σχεδόν 5,3 εκατομμύρια θάνατοι. (Worldometer. COVID-19 coronavirus pandemic. Accessed October 9, 2020. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>).

Λόγω της παγκόσμιας εξάπλωσης της νόσου και της πανταχού παρουσίας των εφαρμογών για κινητά και των ψηφιακών τεχνολογιών, υπάρχει μεγάλος αριθμός διαθέσιμων δεδομένων σχετικά με την πανδημία του Covid-19. (Ienca M, Vayena E., 2020). Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να συλλέγουν δεδομένα από διάφορες πηγές (όπως π.χ. Αισθητήρες IoT, εφαρμογές για κινητά και

βάσεις δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης) σε πραγματικό χρόνο, τα οποία αναλύονται και παρέχουν σαφείς απεικονίσεις και απόψεις της κατάστασης. Αυτά οι πληροφορίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους διοικητές των νοσοκομείων και τους κλινικούς γιατρούς να διαχειριστούν καλύτερα τη διαθεσιμότητα των βασικών πόρων (π.χ. νοσοκομειακές κλίνες, αναπνευστήρες, προσωπικός προστατευτικός εξοπλισμός, κ.λπ.) και τη φροντίδα μεμονωμένων ασθενών.

Η πανδημία Covid-19 έχει τονίσει την ανάγκη διερεύνησης περαιτέρω του πιθανού ρόλου των ψηφιακών διδύμων στην πρόβλεψη και διαχείριση εστίων μολυσματικών ασθενειών. Η ικανότητα αποτελεσματικής παρακολούθησης, εντοπισμού και απομόνωσης θετικών περιπτώσεων μολυσματικών ασθενειών θα ελαχιστοποιήσει τη δημόσια ζημιά και την αναστάτωση στην οικονομία. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων σε εστίες μολυσματικών ασθενειών και ευκαιρίες και προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρήση τους στην υγειονομική περίθαλψη ευρύτερα.

Κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, δε βρέθηκαν εργασίες που να αφορούν συγκεκριμένα τη δυνατότητα των ψηφιακών διδύμων στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που εμφανίζονται από τα ξεσπάσματα μολυσματικών ασθενειών. Επομένως, δεν ήταν δυνατό να απαντηθεί άμεσα το ερευνητικό ερώτημα: «Πόσο αποτελεσματικά είναι τα ψηφιακά δίδυμα στην πρόβλεψη και τη διαχείριση μολυσματικών ασθενειών όπως ο Covid-19». Εντοπίστηκαν πιθανά οφέλη των ψηφιακών διδύμων για την υγειονομική περίθαλψη γενικά – συμπεριλαμβανομένης της αύξησης του ενδιαφέροντος για την κεντρική θέση των ασθενών στο υγειονομικό σύστημα και της βελτίωσης της ποιότητας φροντίδας. Επιπλέον, οι μελέτες που περιλαμβάνονται περιέγραψαν βασικές προκλήσεις που σχετίζονται με τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη, όπως: διαλειτουργικότητα, επεξεργασία δεδομένων, εμπιστευτικότητα ασθενών και ασφάλεια δεδομένων.

Ένας μικρός αριθμός εταιρειών έχει αρχίσει να ερευνά την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στη γήρανση του ανθρώπου στην πανδημία του κορωνοϊού. (GE Healthcare Command Centers. Digital Twin. Accessed September 27, 2023. <https://www.gehccommandcenter.com/digital-twin>), (Food D., 2020).

Στους ιστότοπους αυτών των εταιρειών προτείνονται μελέτες περιπτώσεων που παρουσιάζουν ότι τα ψηφιακά δίδυμα έχουν τη δυνατότητα να επιταχύνουν τη διαδικασία παραγωγής εμβολίων (Food D., 2020) και να βελτιώσουν την ικανότητα των νοσοκομείων, του προσωπικού και τα μοντέλα παροχής φροντίδας (GE Healthcare Command Centers. Digital Twin. Accessed September 27, 2023. <https://www.gehccommandcenter.com/digital-twin>), καθώς και τη διαχείριση ασθενών (όπως διαθεσιμότητα κρεβατιών εντατικής θεραπείας, διαθεσιμότητα αναπνευστήρα, κ.λπ.).

Τα ψηφιακά δίδυμα φαίνεται να έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την υγεία και την ευημερία των ασθενών με νέες ασθένειες, όπως ο Covid-19, χρησιμοποιώντας ειδικές για τον ασθενή προσομοιώσεις για τη δοκιμή νέων θεραπειών, αλλά και να επιφέρουν βελτιώσεις στη διαχείριση των καταστάσεων από το νοσοκομείο κατά τη διάρκεια κρίσεων. Ένα καθιερωμένο σύστημα ψηφιακών διδύμων θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιήσει δυνητικά δεδομένα που σχετίζονται με τα συμπτώματα και τη συμπεριφορά των ασθενών, όπως την ψηφιακή αναγνώριση των συναισθημάτων με βάση τα δεδομένα αισθητήρων (Albraikan A. InHarmony, 2019) για την υποστήριξη της διαχείρισης εξάρσεων μολυσματικών ασθενειών.

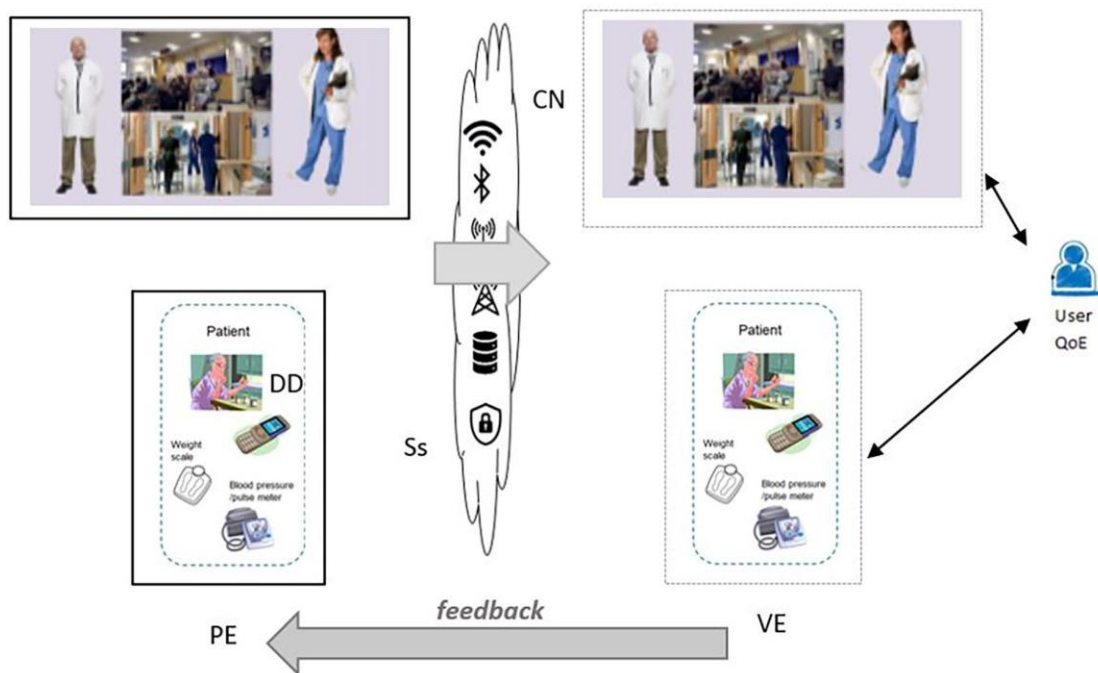
Αυτές οι προσομοιώσεις θα μπορούσαν να διευκολύνουν την πρόβλεψη πιθανών κινδύνων και να παρέχουν μηχανισμούς για βέλτιστη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ετοιμότητα του νοσοκομείου και τη διαχείριση των πόρων.

Καθώς κανένα από τα έγγραφα που εντοπίστηκαν κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν εξετάζει τη χρήση ή την αποτελεσματικότητα των ψηφιακών διδύμων σε σχέση με τη διαχείριση των νοσοκομείων κατά τη διάρκεια της πανδημίας του Covid-19 (ή οποιασδήποτε επιδημίας μολυσματικής νόσου), καθίσταται σαφές ότι απαιτείται μελλοντική έρευνα για τον συγκεκριμένο τομέα. Επίσης, ενώ υπάρχει ένας μικρός αριθμός εταιρειών στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης που διερευνούν τις δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων να προσφέρουν λύσεις στο πρόβλημα της ικανότητας και της διαχείρισης των ασθενών του νοσοκομείου, φαίνεται ότι υπάρχει έλλειψη ακαδημαϊκής έρευνας για την ανάπτυξη ή την αξιολόγηση αυτών των λύσεων.

Με αυξημένη εστίαση στη φροντίδα του ασθενή, τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν τη δυνατότητα καλύτερης πρόβλεψης και διαχείρισης μολυσματικών ασθενειών, όπως ο Covid-19. Μερικοί ασθενείς που έχουν αναρρώσει από τον Covid 19 πάσχουν από μακροχρόνια συμπτώματα Covid

(long Covid), άλλοι έχουν αναπτύξει σοβαρές καρδιαγγειακές παθήσεις ή άλλες σοβαρές ασθένειες. (Venkatesan P. NICE guideline on long COVID. Lancet Respir Med. 2021), (Samidurai A, 2020).

Τα ψηφιακά δίδυμα θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους κλινικούς γιατρούς στην πρόβλεψη, βάσει παραγόντων κινδύνου, εάν ένας ασθενής είναι πιθανό να αναπτύξει μια σοβαρή κατάσταση υγείας ή να υποφέρει από long Covid. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης για την καλύτερη διαχείριση των πόρων και την παροχή υποστήριξης και παρακολούθησης σε όσους διατρέχουν τον υψηλότερο κίνδυνο. Για τους λόγους αυτούς είναι επείγον να κατανοήσουμε καλύτερα αυτούς τους παράγοντες κινδύνου μετά τον Covid και να προτείνουμε λύσεις με επίκεντρο τον ασθενή που θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των ασθενών παρέχοντάς τους την κατάλληλη υποστηρικτική θεραπεία.



Σχήμα 15: Conceptual patient-centric hospital management DT framework for Covid-19.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15^ο

15.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ

Οι βιομηχανίες αυξάνουν την υιοθέτηση ψηφιακών διδύμων λόγω της άνευ προηγουμένου ικανότητάς τους να ελέγχουν φυσικές οντότητες και να βοηθούν στη διαχείριση πολύπλοκων συστημάτων ενσωματώνοντας πολλαπλές τεχνολογίες.

Πρόσφατα, η οδοντιατρική βιομηχανία έχει γνωρίσει αρκετές τεχνολογικές εξελίξεις, αλλά είναι αβέβαιο εάν τα οδοντιατρικά ιδρύματα καταβάλλουν προσπάθεια να υιοθετήσουν ψηφιακά δίδυμα στην εκπαίδευσή τους. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η έκταση της υιοθέτησης ψηφιακών διδύμων από οδοντιατρικά ιδρύματα για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, εστιάζοντας στις έννοιες και τα οφέλη που προσφέρει, και παρέχει έναν οδικό χάρτη βασισμένο σε εφαρμογές για μια πιο εκτεταμένη υιοθέτηση. Παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των ψηφιακών διδύμων στον κλάδο της υγείας, ακολουθούμενο από τον εντοπισμό περιπτώσεων χρήσης και τη σύγκριση τους με περιπτώσεις χρήσης σε άλλους κλάδους. Συγκρίνοντας τα αναφερόμενα οφέλη, την έκταση της έρευνας και το επίπεδο υιοθέτησης ψηφιακών διδύμων από τις βιομηχανίες εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των ψηφιακών διδύμων που μπορούν να προσθέσουν αξία στην οδοντιατρική βιομηχανία από τις εξεταζόμενες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση και σε άλλους κλάδους. Στη συνέχεια, με βάση τις εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων σε διαφορετικούς τομείς, προτείνεται ένας οδικός χάρτης για ψηφιακά δίδυμα στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση για την οδοντιατρική που αποτελείται από παραδείγματα αυξανόμενης πολυπλοκότητας. Τέλος, προσδιορίζονται τα διακριτικά χαρακτηριστικά των οδοντιατρικών ψηφιακών διδύμων για εξ αποστάσεως εκπαίδευση.

Αν και η έρευνα για τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη και σε άλλους τομείς είναι τεράστια, υπάρχουν λίγες έρευνες για τα ψηφιακά δίδυμα στη διδασκαλία ή την έρευνα της οδοντιατρικής. Στη συγκεκριμένη μελέτη των Yaser Maddahi and Siqi Chen “Applications of Digital Twins in the Healthcare Industry: Case Review of an IoT-Enabled Remote Technology in Dentistry” προτείνεται μια πλατφόρμα που ονομάζεται DenTeach που χρησιμοποιεί την τεχνολογία digital twins. Το DenTeach είναι μια φορητή πλατφόρμα διδασκαλίας-μάθησης για εξ αποστάσεως

διδασκαλία και μάθηση στην οδοντιατρική. (Maddahi, Y., et al., 2021), (Maddahi, A., et al., 2019), (Maddahi, Y., et al., 2021). Το DenTeach χρησιμοποιεί τεχνολογία ψηφιακών διδύμων για μάθηση και διδασκαλία και έχει εφαρμογή στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση.

15.2. DENTTEACH: ΕΝΑ ΒΙΩΣΙΜΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 16, υπάρχουν δύο τύποι σταθμών εργασίας DenTeach διαθέσιμοι (Maddahi, A., et al., 2019.): ο σταθμός εργασίας του εκπαιδευτή (αριστερά) και ο σταθμός εργασίας του μαθητή (δεξιά). Ο σταθμός εργασίας του εκπαιδευτή αποτελείται από έναν οδοντικό αρθρωτή DT-Rightway, ένα αισθητήριο σύστημα, τέσσερις κάμερες προβολής 360 μοιρών, μικρόφωνο για ζωντανή επικοινωνία και λογισμικό που εμφανίζει στο μαθητή πληροφορίες και παρουσιάσεις. Ο φοιτητικός σταθμός εργασίας αποτελείται από ένα οδοντιατρείο DT-Rightway articulator, ένα σύστημα αισθητήρων, δύο σετ οδοντιατρικών χειρολαβών RealFeel και λογισμικό που αποθηκεύει την απόδοση των μαθητών και παρέχει KPI (Key Performance Indicators: Βασικοί Δείκτες Απόδοσης). Η οθόνη του σταθμού εργασίας εμφανίζει ένα 3D μοντέλο που τοποθετείται πάνω στο μαθητικό τρυπάνι RealFeel πληροφόρησης και απόδοσης. Μια λίστα KPI φαίνεται στο Σχήμα 17. Οι KPI υπολογίζονται για την αξιολόγηση του χειρισμού των εργαλείων της οδοντιατρικής, την ομαλότητα και τη σταθερότητα της κίνησης των χεριών του μαθητή και την ποσότητα της απτικής αίσθησης που δημιουργείται κατά την εκτέλεση κάθε οδοντιατρικής εργασίας.



Σχήμα 16: DenTeach comprises the DT-Instructor (instructor workstation) and DT-Student (student workstation) that communicate through a cloud-based communication channel.

MODE	KPI CATEGORY	S	I	D	ASSESSMENT PURPOSE
Teaching & Shadowing & Practice	Tool handling angulation - Axial rotation of the tool - Side-to-side rotation of the tool - Back-to-front rotation of the tool - Overall tool handling skill	√	√	√	Assessment of the effort put by the student 20 KPIs for Student; 20 KPIs for Instructor; 20 KPIs Showing Difference
	Tool handling smoothness - Axial speed of the tool - Side-to-side speed of the tool - Back-to-front speed of the tool - Overall smoothness in tool handling	√	√	√	Assessment of the smoothness factor student's tool handling skill 20 KPIs for Student; 20 KPIs for Instructor; 20 KPIs Showing Difference
	Haptic sensation - Longitudinal haptic feeling - Lateral haptic feeling - Vertical haptic feeling - Spatial haptic feeling	√	√	√	Assessment of haptic feeling, <i>i.e.</i> , pressure applied to the tooth 20 KPIs for Student; 20 KPIs for Instructor; 20 KPIs Showing Difference
	Tool handling steadiness - Longitudinal jerk index of the tool - Lateral jerk index of the tool - Vertical jerk index of the tool Spatial smoothness in tool handling	√	√	√	Assessment of the steadiness factor student's tool handling skill 20 KPIs for Student; 20 KPIs for Instructor; 20 KPIs Showing Difference
Practice	Task completion time	√	√	√	1 KPI for Student; 1 KPI for Instructor; 1 KPI Showing Difference
	Interruption index	√	√	√	1 KPI for Student; 1 KPI for Instructor; 1 KPI Showing Difference

Σχήμα 17: A list of KPIs used in DenTtach library to assess each student's performance

Τα αποτελέσματα από μελέτες σε εικονικά εκπαιδευτικά συστήματα και οδοντιατρικούς προσομοιωτές εξ αποστάσεως δείχνουν ότι το εκπαιδευτικό περιβάλλον είναι θετικό. (Maddahi, Y., et al., 2021), Οι μαθητές αναφέρουν ότι η χρήση των συστημάτων εικονικής πρακτικής και των οδοντιατρικών προσομοιωτών ήταν θετικές εμπειρίες και ότι είχαν ορατές βελτιώσεις στις πρακτικές τους δεξιότητες. Ωστόσο, πολλοί από αυτούς τους προσομοιωτές δεν χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω κόστους και ζητημάτων φορητότητας. Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι το DenTeach θα μπορούσε να είναι μια πιο κατάλληλη επιλογή για εξ αποστάσεως εκπαίδευση από άλλες υπάρχουσες μεθόδους.

15.3. DENTTEACH

Το DenTeach συμπληρώνει τον παραδοσιακό χώρο εργασίας εκπαιδευτών και σπουδαστών με την ενσωμάτωσή του στην υπάρχουσα διάταξη εργασίας (η οποία αποτελείται από μια επιτραπέζια, οδοντιατρική μονάδα και οδοντιατρικά εργαλεία).

Σταθμός εργασίας εκπαιδευτή

Η περιοχή εργασίας του εκπαιδευτή που φαίνεται στην Εικόνα 1-αριστερά είναι η ενσωματωμένη πλατφόρμα DenTeach με τον τυπικό χώρο εργασίας του εκπαιδευτή και την οδοντιατρική μονάδα. Αυτός ο σταθμός εργασίας αποτελείται από το DT Performer, το DT-Rightway Articulator, τους αισθητήρες DT-RealFeel και τέσσερις μίνι κάμερες. Το DT Performer διαθέτει προβολή πλήρους τάξης, επιλέξιμο προφίλ μαθητή και δείκτη απόδοσης. Οι αισθητήρες συνδέονται ασύρματα στα τυπικά οδοντιατρικά τρυπάνια, τα οποία μπορούν να μετρούν και να συλλέγουν ποσοτικά δεδομένα απόδοσης. Κάθε αισθητήρας αποτελεί τεχνολογία αιχμής που καταγράφει και μεταδίδει τα δεδομένα κίνησης των χεριών του εκπαιδευτή στο cloud (τα καταγεγραμμένα δεδομένα εισάγονται τότε ζωντανά στον σταθμό εργασίας κάθε μαθητή). Το DT-Performer ερμηνεύει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και παρέχει προηγμένη στατιστική ανάλυση δεδομένων για να βαθμολογήσει την απόδοση του μαθητή ως ποσοτική αξία. Κατά τη διάρκεια κάθε δοκιμής, υπάρχει μέτρηση των δεδομένων προσανατολισμού και δυναμικές πληροφορίες. Οι πληροφορίες

που αναλύονται περιλαμβάνουν roll (axial), pitch (back-to-front) και εκτροπής (side-to-side), γραμμικές επιταχύνσεις (3 DOF), γωνιακές επιταχύνσεις (3 DOF), γωνιακή ταχύτητα (3 DOF), σπασμωδικές συνιστώσες (3 DOF) και πολλά KPI.

Συνοπτικά, τα κύρια στοιχεία του σταθμού εργασίας του εκπαιδευτή παρατίθενται παρακάτω.

- DT-Instructor: η πλατφόρμα περιέχει όλα τα εξαρτήματα και 4 κάμερες HD για παροχή διαφορετικών όψεων (βλ. Εικόνα 4) του σταθμού εκπαιδευτή.
- DT-Performer: λογισμικό που παρέχει προβολή στην τάξη, επιλέξιμα προφίλ μαθητών, ερμηνεύει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και εμφανίζει τις επιδόσεις των μαθητών.
- DT-Rightway Articulator: ένα ειδικά σχεδιασμένο σύστημα που υποστηρίζει ανώτερες και κατώτερες τυποδοντίες.
- Αισθητήρες DT-RealFeel: μετρούν τα ποσοτικά δεδομένα απόδοσης

Φοιτητικός σταθμός εργασίας

Το σχήμα 16 -δεξιά δείχνει την περιοχή εργασίας του μαθητή. Αυτός ο σταθμός εργασίας αποτελείται από το DT Student, ένα πλήρως ενσωματωμένο σύστημα με δύο τυποδοντίες τοποθετημένες στο DT-Rightway Articulator, τη χειρολαβή DT-RealFeel του μαθητή για να συγχρονίζει τις κινήσεις του εκπαιδευτή κατά τη διδασκαλία και λογισμικό DT-Student που επιτρέπει την εγγραφή και την αναπαραγωγή βίντεο μαθημάτων.

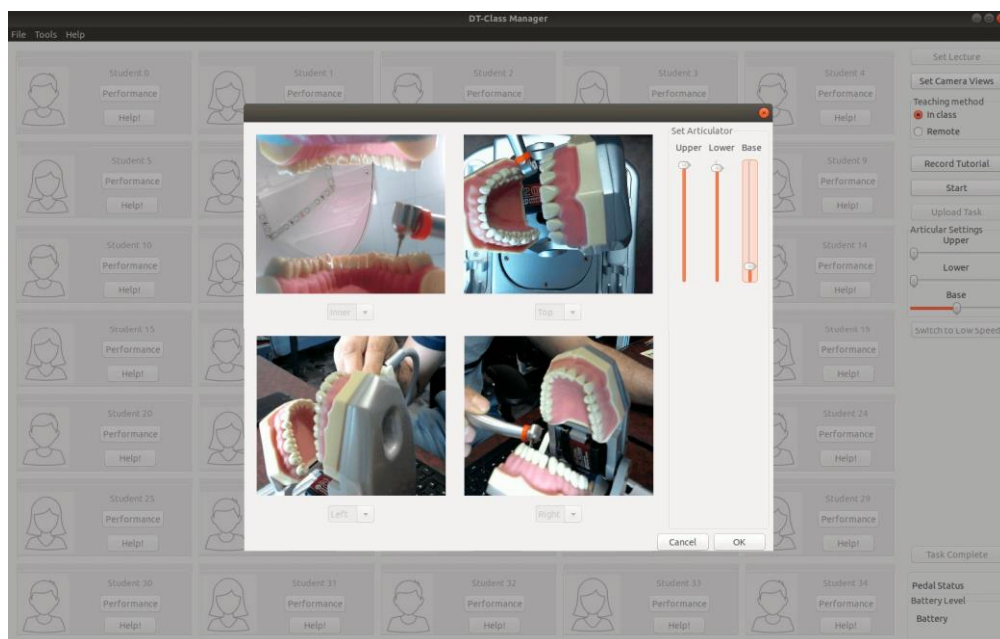
Τα βίντεο μαθημάτων παρουσιάζονται με μετρήσεις ψυχοκινητικής απόδοσης για τη μέτρηση της προσπάθειας, της ταχύτητας, της ακρίβειας και της καμπύλης εκμάθησης. Επιπλέον, το σύστημα διαθέτει τέσσερα επιλέξιμα βίντεο εκπαιδευτών. Σε κάθε βίντεο, το μοντέλο τρυπανιού του μαθητή τοποθετείται πάνω από το τρυπάνι του εκπαιδευτή για να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική απομίμηση. Η ειδικά σχεδιασμένη χειρολαβή DT-RealFeel διαθέτει χειρολαβή με ενσωματωμένο σύστημα ενεργοποίησης για να δημιουργεί μια αίσθηση δόνησης, ένα σύνολο συστημάτων αισθητήρων και ένα σύστημα δεδομένων επικοινωνίας. Η υπερβολική δύναμη ενεργοποιεί τον ενσωματωμένο δονητή να στείλει ένα απότομο τράνταγμα στο χέρι. Η μονάδα επεξεργασίας του σταθμού εργασίας υπολογίζει πολλούς δείκτες απόδοσης και κάθε δείκτης

χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύονται από το σύστημα αισθητήρων μέσα στη χειρολαβή DT-RealFeel. Το DT-Performer του εκπαιδευτή επίσης χρησιμοποιεί τα δεδομένα του για να μετρήσει παρόμοιους δείκτες απόδοσης.

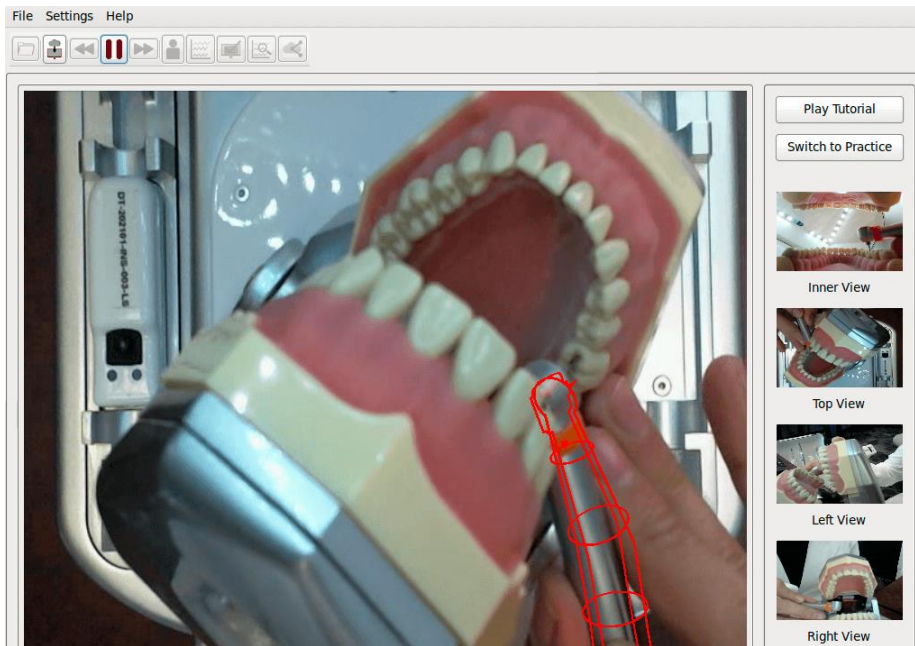
Συνοπτικά, τα κύρια στοιχεία του σταθμού εργασίας σπουδαστών παρατίθενται παρακάτω.

- DT-Student: η κεντρική πλατφόρμα περιέχει όλα τα στοιχεία του φοιτητικού σταθμού.
- DT-RealFeel Handpiece: ένα τρυπάνι με αισθητήρες στη λαβή, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει αίσθηση δόνησης και λειτουργεί ως συναγερμός για την ειδοποίηση των μαθητών.
- Λογισμικό DT-Student: επιτρέπει την προβολή και εγγραφή βίντεο εκπαιδευτών και εμφανίζει μετρήσεις απόδοσης των μαθητών, επιτρέποντας στους μαθητές να δουν την πρόοδο της μάθησης.

Ένα χαρακτηριστικό επαυξημένης πραγματικότητας τίθεται στο βίντεο του εκπαιδευτή που εμφανίζεται



Σχήμα 18: An instructor can set up the view of each camera through which students can watch the task remotely.



Σχήμα 19: Students benefit from the superimposed 3D model of their handpiece in the video over the instructor's drill to understand how to hold the tool properly.

Τέσσερις μίνι κάμερες στον σταθμό εργασίας του εκπαιδευτή δείχνουν την κάτοψη, δύο πλευρικές όψεις, και εσωτερική όψη του DT-Rightway Articulator και τη θέση του χεριού του εκπαιδευτή κατά τη διάρκεια των διδακτικών διαδικασιών. Μπορούν επίσης να καταγράψουν και να μεταδώσουν ταυτόχρονα στους σταθμούς εργασίας των μαθητών. Επιπλέον, ο εκπαιδευτής μπορεί να επιλέξει, να ηχογραφήσει και να παίξει πάνω από 30 ψυχοκινητικές μετρήσεις απόδοσης χρησιμοποιώντας το λογισμικό DT-Performer, ώστε να μπορεί να μετρήσει αντικειμενικά την προσπάθεια, την ταχύτητα, την ακρίβεια και την καμπύλη μάθησης.

Μονάδα PrepScanner

Το PrepScanner είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα μέτρησης για την παροχή των μετρήσεων ενός δοντιού για χρήση από εκπαιδευτή οδοντιάτρων ή φοιτητή οδοντιατρικής για την αξιολόγηση της οδοντιατρικής απόδοσης. Το PrepScanner χρησιμοποιείται στο σταθμό εργασίας του μαθητή

ή του εκπαιδευτή ως αυτόνομη πλατφόρμα ή σε συνδυασμό με έναν σταθμό εργασίας DT-Student ή DT-Instructor του DenTeach. (Maddahi, Y., et al., 2021).

Το PrepScanner έχει μια εφαρμογή που δείχνει μετρήσεις, διαστάσεις, στατιστικές και γραφικές πληροφορίες για την οδοντιατρική απόδοση του μαθητή κατά τη διάρκεια μιας οδοντιατρικής διαδικασίας. Το PrepScanner παρέχει μέτρηση υψηλής ακρίβειας δίνοντας πρόσβαση στους μαθητές σε υψηλής ποιότητας βαθμολόγησης προετοιμασίας που χρησιμοποιεί ρομποτική και λέιζερ τεχνολογία. Η πρόσβαση είναι διαθέσιμη ανεξάρτητα από την ώρα ή την τοποθεσία. Επιπλέον, οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον εικονικό δάσκαλο για την αυτοαξιολόγηση των οδοντιατρικών παρασκευασμάτων και τη λήψη ποσοτικής ανατροφοδότησης και μια ολοκληρωμένη αναφορά αμέσως για τις μετρήσεις ενός οδοντιατρικού παρασκευάσματος, με ακρίβεια έως και 20 μικρόμετρα.

15.4. DENTTEACH: DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

Το DenTeach χρησιμοποιεί την έννοια του ψηφιακού δίδυμου για να διδάξει στους μαθητές τη σωστή θέση των χεριών κατά τις διδακτικές διαδικασίες. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει το DenTeach Digital Twins API σχεδιασμένο για τη Βιβλιοθήκη DenTeach, πίνακες εργαλείων και σταθμούς εργασίας τόσο για τον μαθητή όσο και για τον εκπαιδευτή, ανάλυση δεδομένων/αναλύσεις που εφαρμόζονται στη Βιβλιοθήκη DenTeach και το περιβάλλον προσομοίωσης στο μοντέλο σκίασης του μαθητικού λογισμικού.

Το σχήμα 16 δείχνει την έννοια της επαυξημένης πραγματικότητας των ψηφιακών διδύμων που χρησιμοποιούνται στο DenTeach. Οι αισθητήρες IMU στη χειρολαβή καταγράφουν και μεταφέρουν πληροφορίες από την κίνηση του χεριού του μαθητή και την εμφανίζουν στην οθόνη ως επάλληλο τρισδιάστατο μοντέλο, δηλ. επαυξημένη πραγματικότητα. Οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν την έννοια του μαθήματος συνδυάζοντας και τις φυσικές και τις εικονικές παρουσιάσεις των δοντιών και των οδοντιατρικών οργάνων. Το φυσικό δίδυμο είναι το τρυπάνι χειρός του μαθητή και το εικονικό δίδυμο είναι το τρισδιάστατο μοντέλο τρυπάνι που εμφανίζεται

στο βίντεο του εκπαιδευτή. Το τρυπάνι του μαθητή και το τρισδιάστατο μοντέλο συνδέονται μέσω αισθητήρων, επιτρέποντας τη μετάδοση και εμφάνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η κίνηση από το τρυπάνι χειρός του μαθητή μπορεί να προβληθεί απευθείας στο βίντεο του εκπαιδευτή ως επαυξημένο μοντέλο. Χρησιμοποιώντας αυτή την ιδέα των ψηφιακών διδύμων, οι μαθητές μπορούν να τοποθετήσουν με ακρίβεια τα τρυπάνια τους κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας των διαδικασιών και να δουν καθαρά πότε οι θέσεις του τρυπανιού τους απομακρύνονται από τις θέσεις του εκπαιδευτή. Οι μαθητές μπορούν να καταλάβουν αμέσως πότε κάνουν κάτι λάθος ή με διαφορετικό τρόπο από τον εκπαιδευτή.

Σε ένα περιβάλλον πραγματικής τάξης, οι δάσκαλοι θα ήταν παρόντες για να παρακολουθήσουν την τοποθέτηση του χεριού ενός μαθητή και θα επισήμαναν τα σφάλματα, αλλά με την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων, το DenTeach επιτρέπει στους μαθητές να παρακολουθούν οι ίδιοι τα δικά τους λάθη. Επιπλέον, ένα εικονικό δίδυμο κάθε μαθητή αποθηκεύει τις μετρήσεις απόδοσης και έτσι μετρούνται οι φυσικές του ενέργειες ως KPI και ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο στο προφίλ του μαθητή. Το λογισμικό DT-Performer αποθηκεύει τυχόν αλλαγές ή νέα δεδομένα που μεταδίδονται στον εικονικό δίδυμο.

Ο εκπαιδευτής μπορεί να ελέγξει το προφίλ του μαθητή (εικονικό δίδυμο) και να αναλύσει την πρόοδό του ανεξάρτητα από τη φυσική εγγύτητα με τον μαθητή (φυσικό δίδυμο). Δηλαδή, ο εκπαιδευτής μπορεί να δει όλες τις αλλαγές στο εικονικό δίδυμο εξ αποστάσεως. Επιπλέον, όλες οι ενημερώσεις δεδομένων γίνονται σε πραγματικό χρόνο, επομένως οι πληροφορίες για τους μαθητές που εμφανίζονται είναι ακριβείς όσον αφορά τις τρέχουσες ικανότητές τους. (Maddahi, Y., et al., 2021)

15.5. ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ DENTTEACH

Το DenTeach χρησιμοποιήθηκε για εξ αποστάσεως μάθηση κατά τη διάρκεια της πανδημίας, αλλά αυτό δεν είναι η μόνη ωφέλιμη χρήση του. Το DenTeach επιτρέπει την αμερόληπτη ποσοτική ανατροφοδότηση των φοιτητών, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας, καθώς οι οδοντιατρικές σχολές

απαιτούν τυποποιημένη και αντικειμενική αξιολόγηση. (Maddahi, Y., et al., 2021). Εκτός από ένα αμερόληπτο σύστημα αξιολόγησης, όλοι οι μαθητές λαμβάνουν μαθησιακό υλικό με τον ίδιο τρόπο, καθώς το περιεχόμενο υπάρχει σε έναν διακομιστή.

Οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το DenTeach για αυτο-μελέτη και αυτο-ανάλυση λόγω των διαθέσιμων τρόπων εκπαίδευσης (λειτουργία σκίασης και πρακτικής) και του ενσωματωμένου λογισμικού που παρακολουθεί και εμφανίζει την πρόοδο του μαθητή με τη μορφή KPI. Οι Maddahi et al. σημείωσε ότι η αυτο-μελέτη και η αυτοανάλυση είναι ζωτικής σημασίας για την κατάκτηση των οδοντιατρικών τεχνικών.

Καθώς το DenTeach είναι φορητό, οι οδοντιατρικές σχολές μπορούν να δέχονται φοιτητές από περιοχές που δε διαθέτουν οδοντιατρικές σχολές, γεγονός που ωφελεί τους μαθητές και τις κοινότητές τους. Η παροχή παγκόσμιας διδασκαλίας και μάθησης είναι σημαντική, καθώς υποστηρίζει την αρχή της ισότιμης πρόσβασης στην τεχνολογία. Οι Maddahi et al. σημειώνουν ότι αυτή είναι μια από τις δέκα ηθικές αρχές για την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης (AI).

Μια άλλη ωφέλεια του DenTeach είναι ότι επιτρέπει την εκπαίδευση λόγω της αμφιδέξιας εγκατάστασης τόσο σε αριστερόχειρες όσο και σε δεξιόχειρες χρήστες. Οι μαθητές μπορούν να εξασκηθούν με τρόπο που τους είναι φυσικός και άνετος.

15.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ DENTTEACH

Συγκρίνοντας το DenTeach με την παραδοσιακή διδασκαλία, τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης DenTeach έδειξαν ότι οι KPI, οι προβολές βίντεο και τα γραφικά, οι αναφορές από τη διδασκαλία και τα μοντέλα σκίασης βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν ποιες περιοχές των εργασιών τους χρειάζονται περαιτέρω βελτίωση. (Cheng, L., et al., 2021).

Η πιο προφανής διαφορά μεταξύ της παραδοσιακής μάθησης και του DenTeach είναι η φυσική ρύθμιση του μαθησιακού περιβάλλοντος του μαθητή. Καθώς το DenTeach μπορεί να χρησιμοποιηθεί από απόσταση, υπάρχει απεριόριστο μέγεθος τάξης και τα μαθήματα είναι προσβάσιμα ανεξάρτητα από τον χρόνο και την απόσταση από την τοποθεσία του εκπαιδευτή.

15.7. ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Οι Hartmann και Van der Auweraer σημείωσαν ότι τα ψηφιακά δίδυμα θα πρέπει να επιβάλλουν τις εξής απαιτήσεις για επιτυχή απασχόληση στην τυπική βιομηχανική πρακτική (Hartmann, D., Van der Auweraer, H., 2021):

- **Διαδραστικότητα:** Η αξία των ψηφιακών διδύμων εξαρτάται από την ταχύτητα και την ακρίβεια. Η υψηλή ακρίβεια μπορεί να οδηγήσει σε χρονοβόρες διαδικασίες. Αυξάνοντας την ταχύτητα, ενώ διατηρείται η ακρίβεια, η επέκταση της χρήσης των ψηφιακών διδύμων είναι ζωτικής σημασίας.
- **Αξιοπιστία:** Οι χρήστες ψηφιακών διδύμων δε χρειάζεται να είναι ειδικοί, εκτός κατά τη διάρκεια της χρήσης των ψηφιακών διδύμων στον σχεδιασμό και τη μηχανική. Οποιαδήποτε πρόβλεψη από το ψηφιακό δίδυμο πρέπει να είναι ακριβής ή να εμφανίζει ένα ποσοστό σφάλματος, ώστε οι χρήστες όλων των επιπέδων δεξιοτήτων να μπορούν να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα πρέπει να γνωρίζουν τον εαυτό τους και να ειδοποιούν τους χρήστες εάν βρίσκονται εκτός του δικού τους τομέα χρήσης.
- **Ευχρηστία:** Τα εργαλεία προσομοίωσης έχουν σχεδιαστεί επί του παρόντος για ειδικούς, αλλά οι ειδικοί είναι περιορισμένοι, γεγονός που περιορίζει τη χρήση του λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας των ειδικών. Η ανάπτυξη των ψηφιακών διδύμων χρειάζεται μια προοπτική χρηστικότητας για να συμπεριλάβουν χρήστες μη ειδικούς.
- **Ασφάλεια:** Τα επιχειρηματικά μοντέλα που βασίζονται στα ψηφιακά δίδυμα ενδέχεται να απαιτούν ανταλλαγή μερών των ψηφιακών διδύμων. Πρέπει να ληφθούν μέτρα για την πρόληψη της αντίστροφης μηχανικής και την προστασία της ιδιωτικής ζωής και της πνευματικής ιδιοκτησίας.
- **Δυνατότητα ανάπτυξης:** Η χρήση των ψηφιακών διδύμων διαφέρει ανάλογα με τους χρήστες και τους στόχους τους. Η διανομή πρέπει να είναι απλή με σκοπό τη μείωση των φραγμών και τη διευκόλυνση των προσαθειών.

- Συγχρονισμός: τα ψηφιακά δίδυμα συνδέουν τον εικονικό και τον φυσικό κόσμο. Το εικονικό δίδυμο πρέπει να προσαρμοστεί για να συγχρονιστεί με το φυσικό του δίδυμο, συμπεριλαμβανομένης και της προσαρμογής με βάση τις φυσικές βλάβες, την αναδιαμόρφωση και την αντικατάσταση υπηρεσιών.

Στην οδοντιατρική, υπάρχει η πεποίθηση ότι θα αναπτυχθεί περαιτέρω η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων. Πολλές ακόμη μελέτες θα καταδείξουν τις απεριόριστες δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων στην οδοντιατρική και στην εξ αποστάσεως οδοντιατρική εκπαίδευση. Σημειώνεται επίσης ότι η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων εξακολουθεί να είναι αναδυόμενη και ο όρος «ψηφιακά δίδυμα» μπορεί να μεταβάλλεται και να ενημερώνεται συνεχώς για να περιλαμβάνει περισσότερα εργαλεία. Όπως ακριβώς οι πρώτοι υπολογιστές χρησιμοποιούνταν για υπολογισμούς και τώρα περιλαμβάνουν πολύ μεγαλύτερες λειτουργίες, μπορεί τελικά να δούμε τα ψηφιακά δίδυμα να παρέχουν πιο περίπλοκες λειτουργίες.

Συνοψίζοντας, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα ο προτεινόμενος οδικός χάρτης για την υιοθέτηση ψηφιακών διδύμων στην οδοντιατρική εκπαίδευση.



Σχήμα 20: Roadmap for digital twin adoption in dental education.

Η DenTeach, η πλατφόρμα διδασκαλίας-μάθησης που χρησιμοποιεί ψηφιακά δίδυμα, θα μπορούσε να είναι η λύση στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση στην οδοντιατρική εκπαίδευση. Καθώς τα ιδρύματα συνεχίζουν να βελτιώνονται και να παρέχουν από μακριά εκπαίδευση με σκοπό την άρση των περιορισμών της παρακολούθησης των διαλέξεων και των εργαστηρίων, το DenTeach παρέχει μια νέα μέθοδο για τη διδασκαλία των μαθητών εξ αποστάσεως. Το DenTeach χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό από ΚΡΙ, ροές βίντεο και γραφικές αναφορές σε διαφορετικούς

τρόπους εκπαίδευσης που επιτρέπουν στους μαθητές να βελτιώσουν τις δεξιότητες τους στην οδοντιατρική. Το DenTeach είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο εξ αποστάσεως εκπαίδευσης λόγω της συμπαγούς κατασκευής του και του φορητού του μεγέθους. Το DenTeach χρησιμοποιεί την έννοια των ψηφιακών διδύμων για να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοούν τα μαθήματά τους συνδυάζοντας συγχρόνως τις φυσικές και τις εικονικές παρουσιάσεις των δοντιών και των οδοντιατρικών εργαλείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16^ο

16.1. ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ

Στην ακτινολογία, ένα ψηφιακό δίδυμο μιας ακτινολογικής συσκευής επιτρέπει στους προγραμματιστές να δοκιμάσουν τα χαρακτηριστικά της, να κάνουν αλλαγές στο σχέδιο ή τα υλικά και ένα ελέγξουν την επιτυχία ή την αποτυχία των τροποποιήσεων σε ένα εικονικό περιβάλλον. Καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και οι επιστήμες omics, μπορεί να δημιουργήσουν εικονικά μοντέλα για ασθενείς που προσαρμόζονται συνεχώς με βάση τις παραμέτρους της υγείας και του τρόπου ζωής τους, που παρακολουθούνται ζωντανά.

Κατά συνέπεια, η υγειονομική περίθαλψη θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ψηφιακά δίδυμα για να βελτιώσει την εξατομικευμένη ιατρική. Επιπλέον, η συσσώρευση μοντέλων ψηφιακών δίδυμων από πραγματικές καταστάσεις θα επιτρέψει μεγάλες ομάδες ψηφιακών ασθενών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εικονικές κλινικές δοκιμές και πληθυσμιακές μελέτες. Μέσα από την περαιτέρω τους τελειοποίηση, ανάπτυξη και εφαρμογή στην κλινική πράξη, τα ψηφιακά δίδυμα θα μπορούσαν να είναι ζωτικής σημασίας την εποχή της εξατομικευμένης ιατρικής, που φέρνει επανάσταση στον τρόπο ανίχνευσης και διαχείρισης των ασθενειών. Αν και εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις στην ανάπτυξη των ψηφιακών διδύμων, μια δομική τροποποίηση της λειτουργίας των υπάρχοντων μοντέλων θα επιτρέψει στους ακτινολόγους να εισάγουν μια τέτοια τεχνολογία στην υγειονομική περίθαλψη.

Αν και αυτή η τεχνολογία είναι εντελώς νέα σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα που είναι ικανά για συνηθισμένες προσομοιώσεις παραγωγής, η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων έχει ήδη αποδείξει την αξία της. Στις μεταποιητικές βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των ακτινολογικών συσκευών, σήμερα, η σύνδεση μεταξύ των φυσικών και εικονικών ομολόγων είναι απαραίτητη, και πολλά από αυτά τα σύγχρονα μηχανικά σχέδια και επιτεύγματα βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα ισχυρά και έγκυρα, υψηλής πιστότητας μοντέλα υπολογιστών. (Simonds, S., 2017)

Η εισαγωγή ψηφιακών διδύμων θα μπορούσε να ενισχύσει την ανάπτυξη και βελτίωση των αντικειμένων και τις βιομηχανίες να επιφέρουν τις απαραίτητες βελτιώσεις των αντικειμένων πριν την έναρξη της παραγωγής. Ακόμη και μετά την παραγωγή ενός νέου αντικειμένου, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν λειτουργώντας ως καθρέφτης και παρακολουθώντας ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής. Στις ΗΠΑ, η αγορά των ψηφιακών διδύμων αποτιμήθηκε σε 3,1 δισεκατομμύρια δολάρια πριν από δύο χρόνια και εκτιμάται ότι θα φτάσει στα 48,2 δισεκατομμύρια έως το 2026. (Mehra, A., 2023).

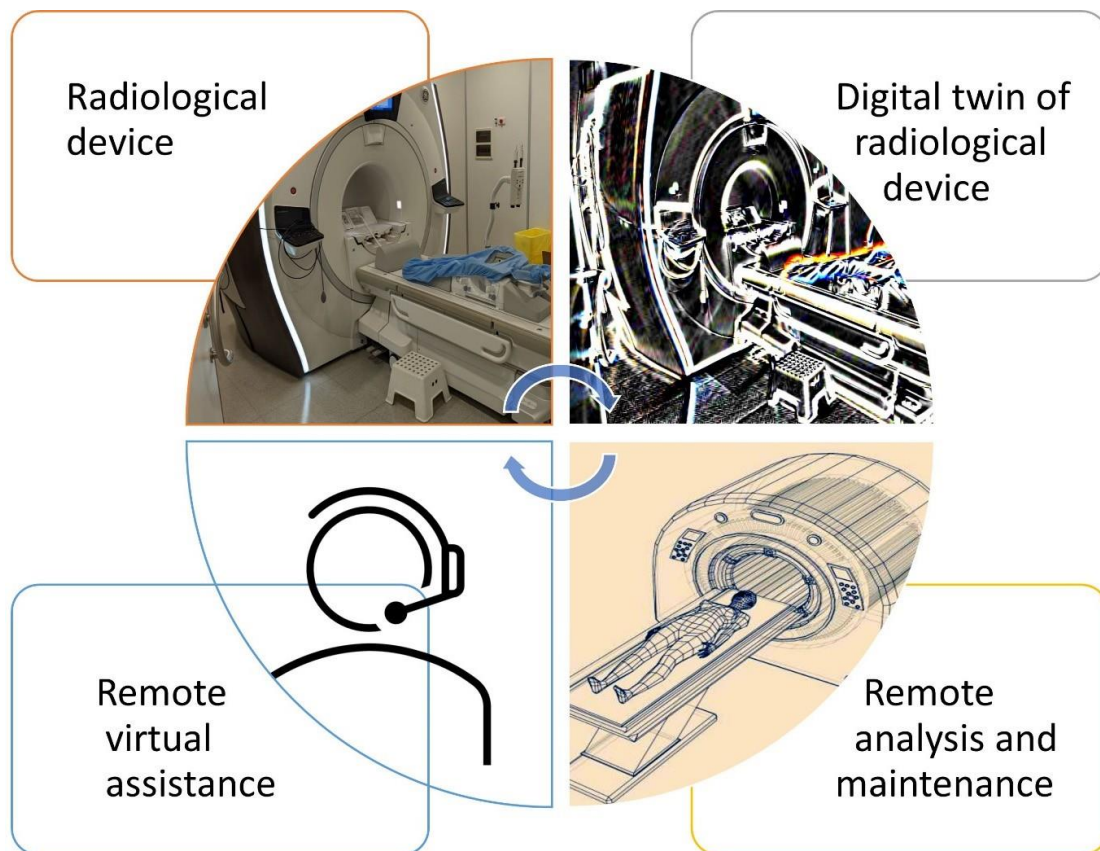
Η υγειονομική περίθαλψη είναι ένας από τους κλάδους που θα μπορούσε να αλλάξει βαθιά με την εισαγωγή των ψηφιακών διδύμων. (Bruynseels, K., 2018), (Kamel Boulos, M.N., Zhang, P. 2021)

Στην ακτινολογία, συσκευές ψηφιακών διδύμων, όπως μηχανήματα CT και MR μπορούν να επιτρέψουν την ανάλυση των ομολόγων εξ αποστάσεως και, σε πραγματικό χρόνο, την παρακολούθηση της κατάστασής τους, τη διάγνωση προβλημάτων, τη δοκιμή λύσεων και ακόμη και την πρόληψη προβλημάτων πριν την εκδήλωσή τους. Και όλα αυτά συμβαίνουν χάρη στην τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης (AI), η οποία είναι ζωτικής σημασίας και για την υγειονομική περίθαλψη τόσο για τους παρόχους όσο και για τους ασθενείς για την εγγύηση της συνέχισης της περίθαλψης. (Gossmann, N. , 2023), (J. Clin. Med. 2022), (Pesapane, F.; Codari, M., Sardanelli. 2018).

Το προϊόν που παράγει το ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικόνα του ιστορικού κάθε συσκευής και των πιθανών μελλοντικών επιδόσεών της. Αυτή η συνεχής πληροφόρηση μπορεί να οδηγήσει σε έγκαιρες προειδοποιήσεις, προβλέψεις και προτάσεις για βελτιστοποίηση, και, το πιο σημαντικό, για ένα σχέδιο δράσης για τη διατήρηση των συσκευών σε λειτουργία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ένα ψηφιακό δίδυμο μιας ακτινολογικής συσκευής δημιουργείται από αισθητήρες σε μια φυσική συσκευή. Τα δεδομένα αναμεταδίδονται για απομακρυσμένη ανάλυση. Για την κατανόηση των δεδομένων που μεταδίδει μια ιατρική συσκευή, απαιτείται βαθιά (ανθρώπινη) γνώση αυτής της συσκευής. Συνδυάζοντας την ανθρώπινη γνώση και τα δεδομένα μηχανών (το AI μπορεί επίσης να βοηθήσει στην ανίχνευση μοτίβων στα δεδομένα) σημαίνει ότι θα μπορούσε να παρασχεθεί εξ

αποστάσεως μια πραγματικά κατάλληλη εικονική βοηθός της ακτινολογικής συσκευής. (J. Clin. Med. 2022, 11, 6553 3 από 7 J. Clin. Med. 2022)



Σχήμα 21. Βασικές έννοιες και παραδείγματα κύκλου ζωής ψηφιακών δίδυμων ακτινολογικών συσκευών.

Τα ψηφιακά δίδυμα συσκευών δεν είναι χρήσιμα μόνο για συντήρηση. Διευκολύνουν επίσης την πρωτότυπη καινοτόμο τεχνολογία. Για παράδειγμα, η NASA ή η Formula 1, χρησιμοποιούν ψηφιακά δίδυμα στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη οχημάτων, στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη οχημάτων, την εκτέλεση δοκιμών (συμπεριλαμβανομένων πολλών επαναλήψεων με φυσικά πρωτότυπα) που διαφορετικά θα χρειαζόνταν χρόνια για την κατασκευή ψηφιακών μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λειτουργία, την προσομοίωση και την ανάλυση ενός

συστήματος που διέπεται από τη φυσική. (Simonds,2017.), (Kamel Boulos, M.N.; Zhang, P., 2021), (Glaessgen, E.H. Stargel, D.S., 2012)

Το ψηφιακό δίδυμο είναι ένας συνδυασμός δεδομένων και νοημοσύνης που αντιπροσωπεύουν τη δομή, το πλαίσιο και τη συμπεριφορά ενός φυσικού συστήματος οποιουδήποτε τύπου, που προσφέρει μια διεπαφή που επιτρέπει σε κάποιον να κατανοήσει τις προηγούμενες και παρούσες λειτουργίες και να κάνει προβλέψεις για το μέλλον.

Κατά συνέπεια, μια τέτοια τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει την οργάνωση των τμημάτων της ακτινολογίας, εντοπίζοντας τρόπους βελτίωσης των διαδικασιών, αναβάθμιση της εμπειρίας του ασθενούς, εξοικονόμηση λειτουργικών δαπανών και ενίσχυση της αξίας της περίθαλψης (Croatti, A., et al., 2020).

Ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί πράγματι να είναι ένα τετραδιάστατο μοντέλο ενός ακτινολογικού τμήματος, όπου οι παράμετροι βελτιστοποίησης κόστους και ποιότητας μπορούν να εξεταστούν και τελικά να επιλεγούν με βάση τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από τις προσομοιώσεις που αξιοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα. (Gossmann, N., 2023)

16.2. ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΕΠΟΧΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ: ΑΠΟ ΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΤΟΝ ΨΗΦΙΑΚΟ ΑΣΘΕΝΗ

Το τελικό ερώτημα είναι: εάν τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν τόσα πολλά πλεονεκτήματα για τη συντήρηση και τη διατήρηση της κατάλληλης λειτουργίας ιατρικών/ακτινολογικών συσκευών, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η ίδια τεχνολογία στους ανθρώπους; Με την ενσωμάτωση διαφορετικών μετρήσεων ενός ασθενούς με την πάροδο του χρόνου, είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα ψηφιακό δίδυμο ενός μέρους του σώματος - όπως ένα όργανο - και, τέλος, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο της ανατομίας και της φυσιολογίας του;

Τέτοια ψηφιακά όργανα μπορεί να υποστηρίξουν θεραπεία καθοδηγούμενη από την ακτινολογία, όπου η ιατρική απεικόνιση ενσωματώνεται αυτόματα για να καθοδηγήσει επεμβατικές πολύπλοκες διαδικασίες. Η εκπαίδευση των νέων γιατρών και φοιτητών της ιατρικής θα επωφεληθεί επίσης από αυτό, επιτρέποντας στους μη ειδικούς χρήστες να εξασκούνται με ψηφιακούς ασθενείς. (Martinez-Velazquez, R.G.R.; El Saddik, A, 2022)

Προσβλέποντας στο μέλλον, η ενσωμάτωση πληροφοριών για τα εμπλουτισμένα μοντέλα οργάνου για συγκεκριμένους ασθενείς, θα μπορούσε να συμβάλει στην πρόβλεψη ασθενειών και στον καλύτερο σχεδιασμό της συγκεκριμένης πρόληψης (ή θεραπείας) του μεμονωμένου ασθενούς, φτάνοντας σε ένα πραγματικά εξατομικευμένο φάρμακο. (Hamlabadi, K.G., et al., 2021).

Εάν είναι επιτυχής, θα μπορούσε να επιτρέψει την ολοκληρωμένη ψηφιακή παρακολούθηση ενός ατόμου από τη γέννηση μέχρι το θάνατό του. Αυτό θα μπορούσε να ανοίξει το δρόμο για ένα εξαιρετικά εξατομικευμένο διαγνωστικό μοντέλο, ικανό να προτείνει αλλαγές στον τρόπο ζωής ή στη διατροφή ή ακόμη και να προβλέπει επερχόμενες ασθένειες. Αυτό, με τη σειρά του, θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξεύρεση λύσεων για την παράταση της ζωής μέσω ενός πιο υγιεινού τρόπου ζωής ή θεραπειών έγκαιρης παρέμβασης. (Martinez-Velazquez, R.G.R.; El Saddik, A, 2022)

Σήμερα, με τη διαθεσιμότητα των νέων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, μπορούμε ήδη να δημιουργήσουμε εξατομικευμένες προσομοιώσεις για ασθενείς, συνεχώς προσαρμόσιμες με βάση τις παρακολουθούμενες παραμέτρους υγείας/τρόπου ζωής τους. Αντίστοιχα, υπάρχουν ήδη πειραματικά μοντέλα ψηφιακών διδύμων, τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να προσαρμόσουν τις θεραπείες, να παρακολουθήσουν τις αποκρίσεις και να παρακολουθήσουν τις τροποποιήσεις του τρόπου ζωής.

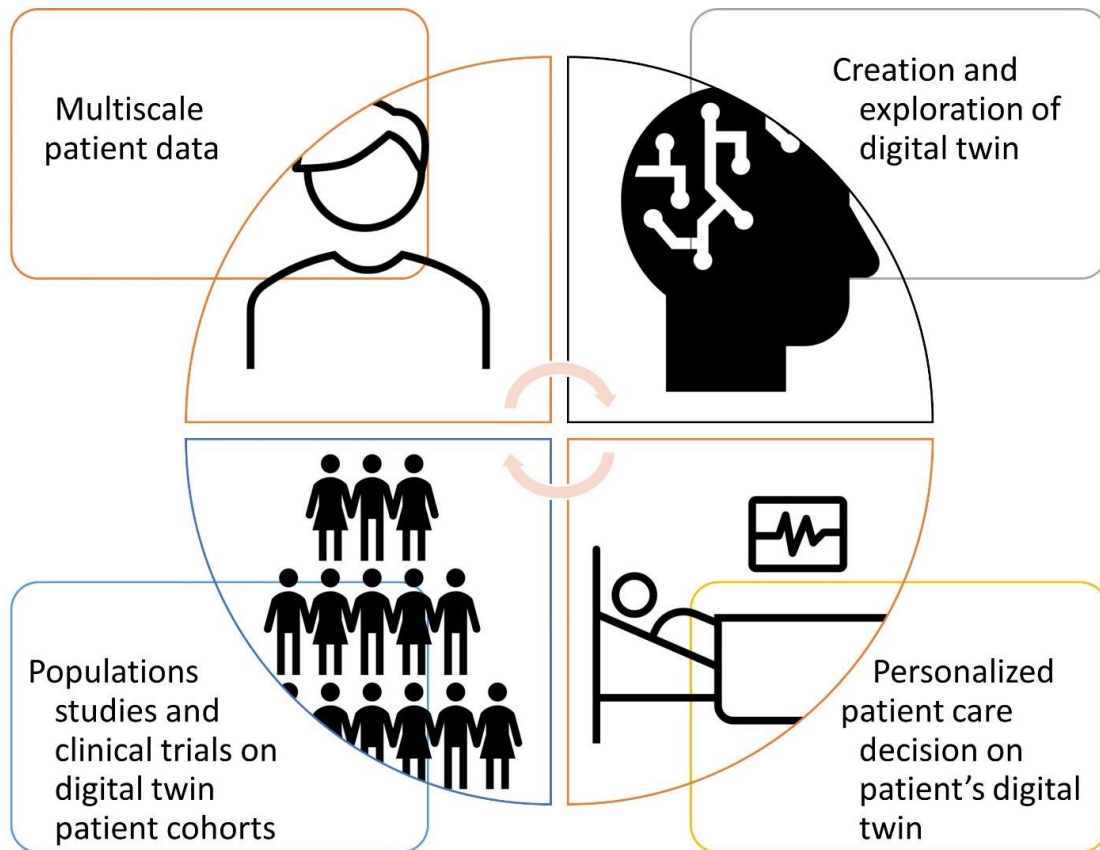
Η συνάθροιση μοντέλων ψηφιακών δίδυμων από την ανάπτυξη του πραγματικού κόσμου θα επιτρέψει τη δημιουργία μεγάλων ομάδων ψηφιακών ασθενών που θα μπορούν να αναλυθούν όσον αφορά εικονικές κλινικές δοκιμές και μελέτες πληθυσμού, παρέχοντας περισσότερες από μεμονωμένες προβλέψεις ασθενών. Τα σωρευτικά αποτελέσματα των ασθενών και η αντιστοίχιση/ασυμφωνία μεταξύ πραγματικότητας και προβλέψεων θα μπορούσαν να παράγουν ανεκτίμητα στοιχεία για επενδύσεις στην έρευνα, διοχετεύοντας κεφάλαια και ενέργειες στις θεραπείες που δείχνουν τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. (Hernandez-Boussard, T.; et al., 2021)

Ομοίως, τα ψηφιακά δίδυμα θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη δομή των υφιστάμενων ακτινολογικών συστημάτων, ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα (σε πραγματικό χρόνο) στις

ανάγκες των ασθενών και σε πρωτόγνωρες καταστάσεις υγείας και να αντιμετωπίσουν τις ανισότητες που εμφανίζονται στην υγεία. (Bruynseels, K., 2018)

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να δημιουργήσουν χρήσιμα μοντέλα με βάση τις πληροφορίες που λαμβάνονται και καταγράφονται από φορητές συσκευές, δημιουργώντας ένα δίκτυο που συνδέει ασθενείς, γιατρούς, οργανισμούς υγειονομικής περίθαλψης και βιομηχανίες φαρμάκων και συσκευών. (Croatti, A., et al., 2020), (Hassani, H., et al., 2022)

Με AI, καινοτόμες βιοτεχνολογίες και -μετρήσεις ωμικής (Pesapane, F., et al., 2018) στο εγγύς μέλλον, ενδέχεται να φτάσουμε σε ένα δια βίου, εξατομικευμένο μοντέλο ασθενούς που ενημερώνεται με οποιαδήποτε δεδομένα και μετρήσεις του εαυτού του, συμπεριλαμβανομένων ιατρικής απεικόνισης, εργαστηριακών εξετάσεων και γενετικών δεδομένων. Αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη ενημερωμένων σεναρίων για διάφορες κλινικές αλλαγές, τη βελτίωση της διάγνωσης και την υποστήριξη εξατομικευμένου σχεδιασμού θεραπείας με στοχευμένη χορήγηση θεραπείας ή παροχή παρεμβάσεων στον τρόπο ζωής προσαρμοσμένες στον συγκεκριμένο ασθενή (Εικόνα 22).



Σχήμα 22: Key concepts and examples of patient digital twin life cycle.

Οι τεχνολογίες AI και omics εξερευνούν μοντέλα που δημιουργούν ένα ψηφιακό δίδυμο του ασθενούς. Οι ιατρικές αποφάσεις θα μπορούσαν να δοκιμαστούν στο ψηφιακό δίδυμο. Η πρόβλεψη των ψηφιακών διδύμων βασίζεται σε εικονικά πειράματα, τα οποία θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στις ιατρικές ροές εργασιών για τη λήψη αποφάσεων από τον ασθενή και για συνεχείς κλινικές δοκιμές προσομοίωσης μάθησης.

16.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και οι τρέχουσες μέθοδοι που βασίζονται σε δεδομένα γίνονται πιο περίπλοκες, η ψηφιακή δίδυμη καινοτομία θα πρέπει να προσαρμοστεί στις ανάγκες και τις ροές εργασίας των γιατρών, βοηθώντας τους να εργάζονται καλύτερα με τους ασθενείς. Ομοίως με ό,τι συμβαίνει με άλλες καινοτομίες στη σύγχρονη ιατρική, (Grieves, 2014), η υλοποίηση των ψηφιακών διδύμων στην

ακτινολογία και στην υγειονομική περίθαλψη, γενικά, μπορεί να πετύχει μόνο με διεπιστημονικές συνεισφορές ειδικών από διάφορους τομείς —από γιατρούς έως ερευνητές— και διαφορετικούς γνωστικούς τομείς— από τη βιολογία, την ιατρική επιστήμη και τη φυσική έως την επιστήμη δεδομένων, την επεξεργασία εικόνας, την επιστήμη των υπολογιστών και την τεχνητή νοημοσύνη. Ιδιαίτερα, θα ήταν εσφαλμένο να αναπτυχθεί ένας ψηφιακός ασθενής χωρίς τη στενή συμμετοχή ακτινολόγων που κατανοούν τον τρόπο με τον οποίο βλέπουν τις εικόνες.

Τα τελευταία χρόνια, με την εισαγωγή της τεχνολογίας AI και τη μετάβαση της υγειονομικής περίθαλψης σε ένα πραγματικά εξατομικευμένο φάρμακο, μια ψηφιακή επανεφεύρεση συμβαίνει ήδη στην ακτινολογία σήμερα, απαιτώντας πραγματική ενοποίηση μεταξύ της φυσικής και ψηφιακής άποψης των περιουσιακών στοιχείων, των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού και των διαδικασιών. Τα ψηφιακά δίδυμα θα είναι ένα κρίσιμο μέρος αυτής της μεταρρύθμισης, φέρνοντας επανάσταση στον τρόπο ανίχνευσης, διαχείρισης και θεραπείας ασθενειών. Το μέλλον των ψηφιακών δίδυμων είναι γεμάτο δυνατότητες, χάρη στις αυξανόμενες ποσότητες γνώσης που διαρκώς αφιερώνονται στη χρήση και τις εφαρμογές τους. Οι ακτινολόγοι, οι οποίοι βρίσκονται πάντα στην πρώτη γραμμή της ψηφιακής εποχής στην ιατρική, μπορούν να καθοδηγήσουν την εισαγωγή της ψηφιακής δίδυμης τεχνολογίας στην υγειονομική περίθαλψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17^ο

17.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΟΣ ΣΤΗ ΡΙΝΟΛΟΓΙΑ

Στον τομέα ενός ρινολογίας, που ασχολείται με την περίπλοκη ανατομία ενός μύτης από τον κόλπο έως τη βάση του κρανίου, η υιοθεσία των ψηφιακών διδύμων μόλις ξεκινά. Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν αρχίσει να ενσωματώνονται στη χειρουργική πλοήγηση και στη διαχείριση χρόνιων ασθενειών, ενός η χρόνια ρινοκολπίτιδα. Παρά ενός απεριόριστες δυνατότητες των ψηφιακών διδύμων, οι προκλήσεις που σχετίζονται με την αντιμετώπιση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων και την ενίσχυση ενός ασφάλειας των προσωπικών δεδομένων πρέπει να ξεπεραστούν για να εφαρμοστεί ευρύτερα αυτή η μέθοδος.

Η ρινολογία είναι από καιρό ένας δύσκολος τομέας τόσο για τους χειρουργούς όσο και για τους ασθενείς λόγω ενός περίπλοκης ανατομίας, ενός γειτνίασης με κρίσιμες νευροαγγειακές δομές και ενός ποικίλης φυσιολογίας ενός ενός περιοχής. Η εισαγωγή ενός τεχνολογίας digital twin αναμένεται να προσφέρει μια νέα λύση για ενός ρινολόγους, προσφέροντας ένα ισχυρό εργαλείο για τη βελτίωση ενός φροντίδας και των αποτελεσμάτων των ασθενών.

Στο σημείο αυτό ενός εργασίας επιχειρείται μια λεπτομερής ανάλυση ενός τρέχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στη ρινολογία, συμπεριλαμβανομένων των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών ενός ενός τεχνολογίας. Στη συνέχεια, αυτή η ανασκόπηση προσπαθεί να δώσει πληροφορίες για τη μελλοντική εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη και ενός δυνατότητές ενός να ενισχύσουν τον τομέα ενός ρινολογίας και ενός ωτορινολαρυγγολογίας.

Διεξήχθη βιβλιογραφική αναζήτηση στο PubMed και στο Google Scholar χρησιμοποιώντας ενός λέξεις-κλειδιά «ψηφιακά δίδυμα», «ψηφιακή υγειονομική περίθαλψη» και «χειρουργική». Η αναζήτηση περιορίστηκε μόνο στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία και επιλέχθηκαν μελέτες που σχετίζονται με τον τομέα ενός ρινολογίας (χρόνια ρινοκολπίτιδα [CRS], αλλεργική ρινίτιδα, φάρμακα ύπνου, ρινοπλαστική ή ιατρική ύπνου). Μετά τον εντοπισμό και την αφαίρεση των διπλότυπων, τα άρθρα που προέκυψαν εξετάστηκαν κατά τίτλο και περίληψη και, στη συνέχεια,

αξιολογήθηκαν κριτικά ως ενός τη συνάφεια και την ποιότητα με το θέμα των ψηφιακών διδύμων στη ρινολογία. Η ανασκόπηση περιλάμβανε κυρίως πρωτότυπα άρθρα, αλλά επίσης και επιλεγμένα άρθρα και άρθρα κριτικής από ειδικούς για το θέμα επιστήμονες. Χρησιμοποιήθηκε μια στρατηγική χιονοστιβάδας για τον εντοπισμό πρόσθετων σχετικών μελετών ελέγχοντας ενός αναφορές των επιλεγμένων άρθρων.

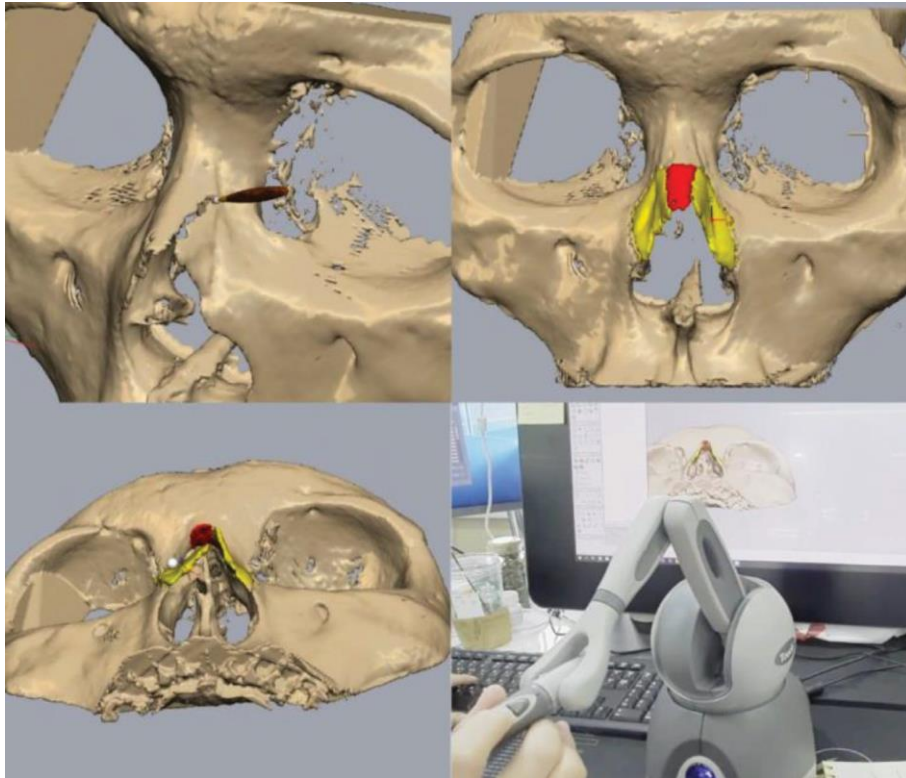
17.2. ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η προεγχειρητική αξονική τομογραφία (CT) και η μαγνητική τομογραφία (MRI) χρησιμοποιούνται συνήθως στη σύγχρονη υγειονομική περίθαλψη για τη δημιουργία λεπτομερών εικόνων ενός ανατομίας του ασθενούς. Αυτές οι εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου ενός ανατομίας του ασθενούς, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τα ψηφιακά δίδυμα. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από χειρουργούς για να σχεδιάσουν τη χειρουργική προσέγγιση, να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα και να προβλέψουν τα αποτελέσματα πριν από τη χειρουργική επέμβαση. (Riedel P, et al., 2022). Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κινδύνου επιπλοκών και στη βελτιστοποίηση των χειρουργικών αποτελεσμάτων.

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση χειρουργικών επεμβάσεων, παρέχοντας ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον για ενός χειρουργούς για να βελτιώσουν ενός δεξιότητές ενός. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη μιας αναπαράστασης εικονικής πραγματικότητας ενός ανατομίας του ασθενούς, με την οποία ο χειρουργός μπορεί να αλληλοεπιδράσει χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα εργαλεία, ενός απτικές συσκευές. (Shu H, et al., 2023).

Με αυτό τον τρόπο βελτιώνεται η επιδεξιότητα και η ακρίβεια του χειρουργού και μειώνεται η καμπύλη εκμάθησης νέων τεχνικών. Για παράδειγμα, η οστεοτομία συνήθως εκτελείται χρησιμοποιώντας μια ελάχιστη εξωτερική τομή, η οποία απαιτεί από τον χειρουργό να βασίζεται στην αίσθηση ενός αφής του και να εκτελεί την επέμβαση χωρίς άμεση οπτική καθοδήγηση. Αν

και οι έμπειροι χειρουργοί είναι ειδικευμένοι σε αυτήν την τεχνική, μπορεί να είναι δύσκολο για ενός αρχάριους να προσδιορίσουν την ακριβή θέση και την έκταση των απαιτούμενων τομών για την οστεοτομία. Για να ξεπεραστεί αυτή η καμπύλη μάθησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί προεγχειρητική πρακτική με τη βοήθεια ενός μοντέλου ψηφιακού δίδυμου πριν από την πραγματική χειρουργική επέμβαση (Εικ. 23).

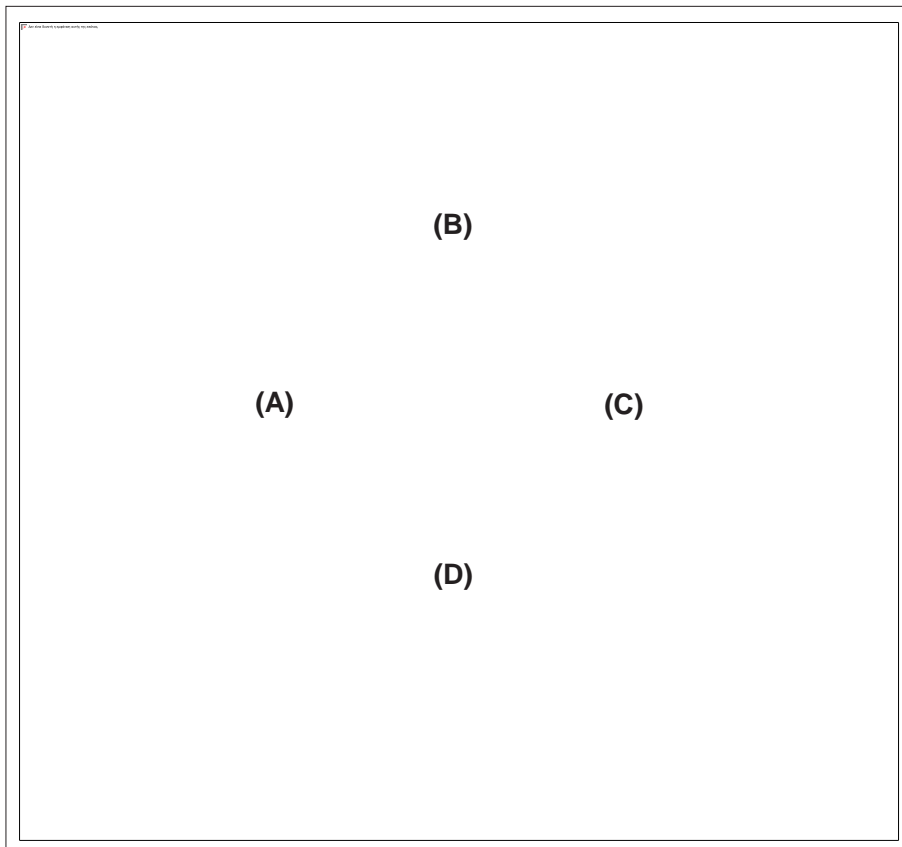


Σχήμα 23: Οι χειρουργοί μπορούν να εκτελέσουν μια οστεοτομία σε ένα ψηφιακό δίδυμο που έχει δημιουργηθεί με βάση την εικόνα ενός πραγματικού ασθενούς με μια απτική συσκευή πριν από την πραγματική χειρουργική επέμβαση (αδημοσίευτα δεδομένα, Jung, 2023).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18^ο

18.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗ ΡΙΝΟΛΟΓΙΑ

Η ψηφιακή εποχή έχει ξεκινήσει και στον τομέα της ρινολογίας. Η έννοια των ψηφιακών διδύμων σημαίνει παροχή εξατομικευμένης φροντίδας σε ασθενείς με βάση ιατρικά δεδομένα. Τεχνολογίες αιχμής, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η μηχανική μάθηση, η εξελιγμένη τρισδιάστατη (3D) μοντελοποίηση και η εκτεταμένη πραγματικότητα, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις ιατρικές αποφάσεις και είναι επίσης διαθέσιμες στη ρινολογία. Υπάρχουν μερικά παραδείγματα ψηφιακών διδύμων που έχουν χρησιμοποιηθεί επί του παρόντος στον τομέα της ρινολογίας (Εικ. 24) (Minhae Park, et al., <https://doi.org/10.18787/jr.2023.00018>)



Σχήμα 24: Ψηφιακά δίδυμα στη ριнологία. Εικονικά μοντέλα πλοήγησης ειδικά για ασθενείς (Minhae Park, Namkee Oh, and Yong Gi Jung, Digital Twins in Healthcare and Their Applicability in Rhinology: A Narrative Review, <https://doi.org/10.18787/jr.2023.00018>)

A: Η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας, η οποία συνδυάζει εικόνες προεγχειρητικής αξονικής τομογραφίας (CT) και ενδοσκοπικές εικόνες κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης, έχει αναπτυχθεί για να εμφανίζει τις κύριες δομές σε μια οθόνη ενδοσκοπίου σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας ασφαλέστερη χειρουργική επέμβαση και βοηθώντας τους χειρουργούς.

B: Τα μοντέλα ψηφιακών διδύμων ειδικά για τον ασθενή για εκπαίδευση αρχαρίων παρέχουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο χωρίς περιορισμούς χρόνου ή χώρου και διασφαλίζουν την ασφάλεια του ασθενούς κατά τις πραγματικές επεμβάσεις.

C: Οι προεγχειρητικές αξονικές τομογραφίες και η μαγνητική τομογραφία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων της ανατομίας ενός ασθενούς, που μπορούν να βοηθήσουν τους χειρουργούς να σχεδιάσουν χειρουργικές προσεγγίσεις, να προσομοιώσουν τις διαδικασίες και να βελτιώσουν τις δεξιότητές τους σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, ο κίνδυνος επιπλοκών μπορεί να μειωθεί και τα χειρουργικά αποτελέσματα να βελτιστοποιηθούν.

D: Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση μολυσματικών ασθενειών, τον σχεδιασμό εμβολίων και τις διαταραχές ύπνου-αναπνοής. Η συλλογή δεδομένων ασθενών κατά τη διάρκεια της πανδημίας οδήγησε στην εισαγωγή της τηλεϊατρικής. Έχουν επίσης γίνει προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί η κινητή υγειονομική περίθαλψη σε ασθενείς με χρόνια ρινοκολπίτιδα.

Η λειτουργική ενδοσκοπική χειρουργική κόλπων (FESS) έχει γίνει πιο ακριβής και ασφαλέστερη με την ανάπτυξη συσκευών πλοήγησης. Η πλοήγηση FESS γίνεται επίσης πιο ακριβής, αλλά οι χειρουργοί θέλουν να εμφανίζουν σημαντικές δομές στην οθόνη του ενδοσκοπίου κατά τη διάρκεια του FESS σε πραγματικό χρόνο. (Citardi MJ, et al., 2016). Οι ερευνητές δημιούργησαν ένα εικονικό μοντέλο με προεγχειρητικές εικόνες CT και επικάλυψαν το τρισδιάστατο μοντέλο στις

πραγματικές χειρουργικές εικόνες του ασθενούς. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, κρίσιμες δομές που πρέπει να αποφεύγονται (π.χ. το οπτικό νεύρο) εμφανίζονται σε μια ενδοσκοπική οθόνη. Αυτή η οθόνη αναμένεται να ενισχύσει την ασφάλεια της χειρουργικής διαδικασίας και να διευκολύνει την εκπαίδευση των αρχάριων χειρουργών ασκούμενων που χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα.

18.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ – ΕΣΤΙΑΖΟΝΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ

Η κινητή τεχνολογία υγειονομικής περίθαλψης κατέχει εξέχουσα θέση στις χρόνιες ασθένειες. Οι Bodini et al. (Bodini R, et al., 2019) προσδιόρισαν πέντε ψηφιακές θεραπείες για ασθενείς με άσθμα και χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Ανέπτυξαν μια εφαρμογή για κινητά για ασθενείς και λογισμικό που βασίζεται σε cloud για την καταγραφή του αριθμού της χρήσης της συσκευής εισπνοής και των συμπτωμάτων του ασθενούς, την παροχή ειδοποιήσεων για τη χρήση της συσκευής εισπνοής και τη μεταφορά πληροφοριών από τον αισθητήρα, καθώς και τη μετάδοση πληροφοριών για τον ασθενή σε παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, συμπεριλαμβανομένων των γιατρών.

Ομοίως, το Ευρωπαϊκό Φόρουμ για Έρευνα και Εκπαίδευση στις Αλλεργίες και τις Ασθένειες των Αεραγωγών ανέπτυξε μια εφαρμογή που ονομάζεται mySinusitisCoach το 2017. Αυτή η εφαρμογή παρακολουθεί τα συμπτώματα των ασθενών με CRS (Σύνδρομο απελευθέρωσης κυτταροκινών) σε πραγματικό χρόνο και παρέχει στον ασθενή έναν βαθμό ελέγχου των συμπτωμάτων και επιλογές θεραπείας. Επιπλέον, αυτά τα δεδομένα κοινοποιούνται στους γιατρούς, οι οποίοι μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν για να παρέχουν βελτιστοποιημένη θεραπεία στους ασθενείς, (Ruggiero R, et al., 2021)

Στον τομέα της ωτορινολαρυγγολογίας, τα ψηφιακά δίδυμα έχουν χρησιμοποιηθεί εκτός από τη διαχείριση χρόνιων ασθενειών και για τη διαχείριση μολυσματικών ασθενειών, όπως η νόσος του κορονοϊού 2019 (COVID-19). Επιπλέον, χρήση των ψηφιακών διδύμων έχει γίνει στο σχεδιασμό εμβολίων, τα οποία χρειάστηκαν σχετικά σύντομο χρόνο για τη διεξαγωγή κλινικών δοκιμών. (Malone B, Simovski B, et al., 2020). Ωστόσο, η πιο σημαντική εξέλιξη που σημειώθηκε κατά την

πανδημία COVID-19 ήταν ότι εισήχθη η τηλεϊατρική ταχύτερα από το αναμενόμενο. Σε μια κατάσταση όπου η θεραπεία με φυσική παρουσία του ασθενούς ήταν περιορισμένη λόγω της πανδημίας, οι ασθενείς συνήθισαν περισσότερο να στέλνουν τις ιατρικές τους πληροφορίες μέσω μιας συσκευής και η συλλογή αυτών των δεδομένων βοήθησε στη δημιουργία μιας κλινικής εικόνας των ασθενών.

Ο ύπνος είναι ένας τομέας στον οποίο πρέπει να εφαρμοστούν τα ψηφιακά δίδυμα. Μια μελέτη για την επιλογή ασθενών με διαταραχές ύπνου - αναπνοής με χρήση φορητής συσκευής έχει ήδη διεξαχθεί. (Rosa T, Bellardi K, et al., 2018). Γίνεται συλλογή δεδομένων ύπνου ασθενών που σχετίζονται με τη χρήση συνεχούς θετικής πίεσης αεραγωγών (CPAP) και την πολύ-υπνογραφία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλήρως ως ψηφιακό νήμα. Ένας ειδικός στον ύπνο μπορεί να παρέχει ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο για προβλήματα CPAP που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του ύπνου. Εάν ένα εικονικό μοντέλο κατασκευάζεται με ψηφιακά δίδυμα, παρέχεται η δυνατότητα πρόβλεψης προβλημάτων κατά την εκ των προτέρων εκκίνηση του CPAP. Αυτό θα καταστήσει δυνατή τη βελτίωση των περιόδων προσαρμογής των ασθενών πιο γρήγορα.

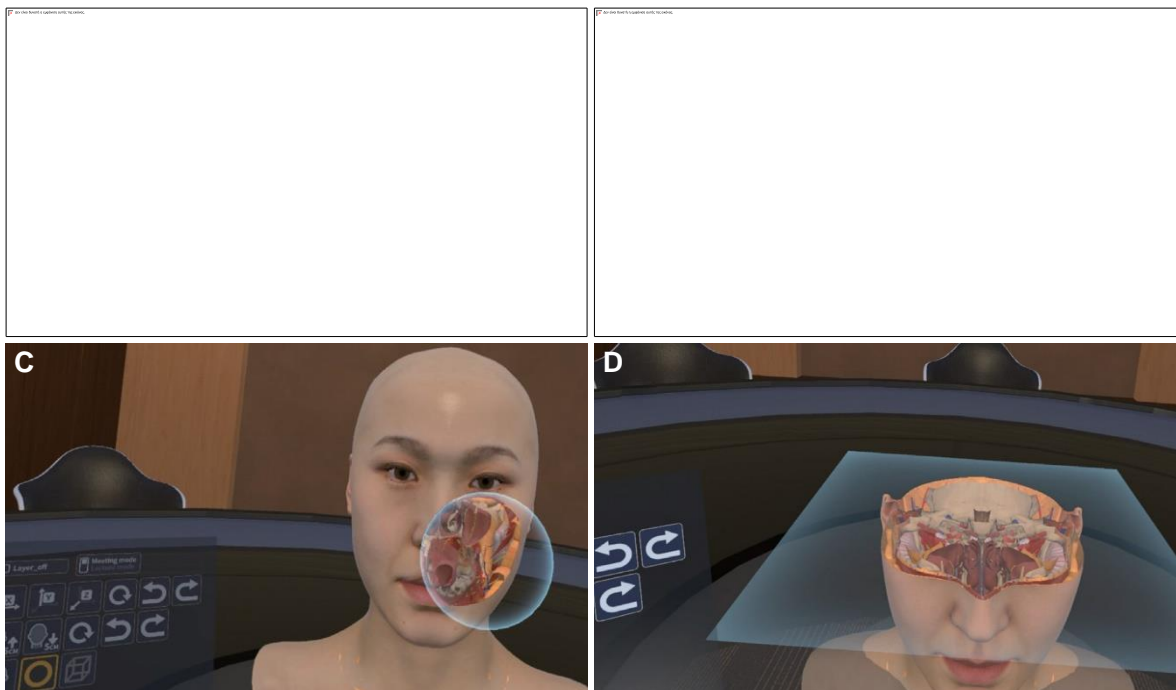
18.3. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΑΡΧΑΡΙΟΥΣ

Καθώς τα πρότυπα για την ηθική των ασθενών ενισχύονται σταδιακά, γίνεται δύσκολο για τους αρχάριους να λάβουν επαρκή εκπαίδευση για να φτάσουν στην καμπύλη μάθησης. Το FESS είναι ο πιο κοινός τύπος χειρουργικής επέμβασης που εκτελείται στο ρινολογικό τμήμα και τα εμπόδια φαίνονται σχετικά υψηλά λόγω της περίπλοκης ανατομίας του κόλπου και της χρήσης διαφόρων σκοπευτικών γωνιών. Επιπλέον, απαιτείται επαρκής εκπαίδευση, διότι η βλάβη σε μεγάλες δομές μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπλοκές. Δεδομένου ότι το FESS είναι μια ενδοσκοπική χειρουργική επέμβαση, παρουσιάζει μια ευκαιρία για τη δημιουργία εκπαιδευτικών μοντέλων που χρησιμοποιούν τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας (Εικ. 5).

Η ομάδα Νευρορινολογικής Χειρουργικής ανέπτυξε έναν προσομοιωτή μικτής πραγματικότητας και παρουσίασε μια τεχνική στην οποία οι εκπαιδευόμενοι εκπαιδεύονται σε ένα συγκεκριμένο

μοντέλο για τον ασθενή χρησιμοποιώντας μια συσκευή ικανή για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. (Richards JP, et al., 2020).

Ως αποτέλεσμα, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να εξασκηθούν με το ίδιο μοντέλο ασθενούς με τον πραγματικό ασθενή, λαμβάνοντας ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο για τη χειρουργική διαδικασία χωρίς περιορισμούς χρόνου και χώρου. Πάνω απ' όλα, είναι δυνατό να διασφαλιστεί η ασφάλεια του ασθενούς κατά τη διάρκεια της πραγματικής επέμβασης με επαρκή χρόνο για την επίτευξη του ικανοποιητικού αποτελέσματος. (Minhae Park, et al, 2023)



Σχήμα 25:

Αποκαλύπτοντας την τρισδιάστατη (3D) ρινική ανατομία για βελτιωμένο προεγχειρητικό σχεδιασμό και χωρικό προσανατολισμό. Η εικόνα αντιπροσωπεύει ένα τρισδιάστατο μοντέλο της ρινικής ανατομίας, που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας την εικόνα υπολογιστικής τομογραφίας ενός ασθενούς (A). Οι (B) στεφανιαίες, (C) ενδοσκοπικές μεγεθυσμένες και (D) αξονικές τομές του μοντέλου μπορούν να προβληθούν σε 3D, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση της ανατομίας του ασθενούς πριν από τη χειρουργική επέμβαση ενώ φοράει οθόνη τοποθετημένη στο

κεφάλι. Εμφανίζονται επίσης οι κύριες δομές όπως οι μύες, τα αγγεία και τα νεύρα, κάτι που είναι χρήσιμο για τον χωρικό προσανατολισμό (μη δημοσιευμένα δεδομένα, Jung, 2023).

Τα ψηφιακά δίδυμα είναι μια καινοτόμος ιδέα που θα διαδραματίσει πρωταρχικό ρόλο στην ιατρική επιστήμη και θεραπεία ασθενειών στο μέλλον, αλλά υπάρχουν θέματα που προκαλούν ανησυχία. Πρώτον, θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη το ζήτημα της διαθεσιμότητας δεδομένων, επειδή τα ψηφιακά δίδυμα είναι μια έννοια που βασίζεται σε δεδομένα. Επίσης θεμελιώδες θέμα αποτελεί το απόρρητο και η ηθική χρήση των δεδομένων για την ανάπτυξη ψηφιακών διδύμων και η πρόσβαση και η χρήση δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης που βασίζονται σε τέτοιες δομές. Επιπλέον, επί του παρόντος είναι δυνατή η συλλογή τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, αλλά απαιτείται τυποποίηση δεδομένων για να καταστούν τα δεδομένα αξιοποιήσιμα. Ωστόσο, η αυτόματη επεξεργασία τέτοιων δεδομένων δεν είναι ακόμη τεχνικά απολύτως εφικτή. Επίσης, θα πρέπει να προχωρήσει η τεχνολογική ανάπτυξη ώστε να χρησιμοποιηθούν πιο ενεργά τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη.

Τα δεδομένα επανεπεξεργασίας με ψηφιακά δίδυμα μπορεί να είναι χρήσιμα στη λήψη κλινικών αποφάσεων, αλλά οι γιατροί δεν πρέπει να τα χρησιμοποιούν ως απόλυτο κριτήριο. Για παράδειγμα, εάν ένα μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης προτείνει μια βέλτιστη θεραπεία που ενισχύει το ποσοστό επιβίωσης ενός ασθενούς, ο γιατρός πρέπει να εξετάσει εάν αυτή η επιλογή μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα ζωής του ασθενούς. Κατά συνέπεια, κατά την αξιολόγηση μοντέλων ψηφιακών διδύμων, είναι επιτακτική ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη οι προτιμήσεις του ασθενούς παράλληλα με άλλους παράγοντες.

18.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης προσφέροντας λύσεις σε πολλαπλές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένων των αναδυόμενων μολυσματικών ασθενειών, της τηλεϊατρικής και της ανάγκης να ενισχυθούν τα πρότυπα ιατρικής δεοντολογίας. Στη σφαίρα της ρινολογίας, οι ψηφιακές μελέτες διδύμων

βρίσκονται ακόμη σε στάδια εκκίνησης και διάφορες εφαρμογές της ιδέας δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί. Αυτές οι μελέτες περιλαμβάνουν τη σήμανση σε πραγματικό χρόνο της κρίσιμης ανατομίας κατά τη διάρκεια της ενδοσκοπικής χειρουργικής με βάση την προεγχειρητική απεικόνιση, τη χρήση εικονικών μοντέλων για εκπαιδευτικούς σκοπούς και την εφαρμογή κινητής υγειονομικής περίθαλψης για ασθενείς με CRS. Παρά τα πιθανά οφέλη, η έρευνα για τα ψηφιακά δίδυμα για την ιατρική του ύπνου, τη ρινοπλαστική και τον καρκίνο του ρινικού κόλπου παραμένει σχετικά περιορισμένη. (Minhae Park, et al, 2023)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μέσα από τη βιβλιογραφία συναντάμε πολλές εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων σε διάφορες ασθένειες σχετικές με την καρδιά, το ήπαρ, τον καρκίνο, την COVID – 19, το αναπνευστικό (ΧΑΠ) κλπ. (Gillettea K, et al., 2021), (Kaul, R., et al., 2022).

Η δημόσια και ιδιωτική υγειονομική περίθαλψη έχει απογειωθεί με τις συσκευές IoT που χρησιμοποιούνται για επεμβατική και μη επεμβατική θεραπεία. Στις εφαρμογές περιλαμβάνονται χειρουργικές επεμβάσεις (π.χ λέιζερ για την αφαίρεση καταρράκτη ματιών) και εξ αποστάσεως παρακολούθηση της υγείας των ασθενών. Τα φορητά εμφυτεύσιμα, μεταμορφώνουν τη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης. Τα νανοφάρμακα εισάγουν τη μη επεμβατική θεραπεία του ανθρώπινου σώματος. Ρομπότ εκτελούν χειρουργική επέμβαση με μέγιστη ακρίβεια (Hoehme,S., et al., 2023).

Όλες οι λειτουργίες του σώματος μπορούν να μελετηθούν σε μία μόνο σάρωση. Η συνεχής παρακολούθηση και η ανατροφοδότηση με τη βοήθεια φορητών συσκευών έχει αυξήσει τη διάρκεια ζωής του ατόμου. Οι συνδεδεμένες έξυπνες ΜΕΘ βοηθούν τους ασθενείς και τους γιατρούς να βρίσκονται σε συνεχή επαφή. Τα συστήματα διαχείρισης στο νοσοκομείο συνδέουν διαφορετικά τμήματα μαζί και παρέχουν μια επίσκεψη χωρίς ταλαιπωρία στο γιατρό και τον ασθενή. (Xu,C.,1 Yang,Y., Wei Gao, W., 2020).

Ένα παράδειγμα που αποδεικνύει τα παραπάνω είναι η αντιμετώπιση της πανδημίας της νόσου του κορωνοϊού 2019 (COVID-19) που είχε σημαντικό παγκόσμιο αντίκτυπο στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, μέσω πρωτοφανών περιορισμών και επιβολής φυσικής απόστασης. Ως εκ τούτου, αυτό επιτάχυνε την υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών όπως ο μαζικός έλεγχος του πληθυσμού, η ταχεία ανίχνευση των επαφών, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας για εμβόλια και φάρμακα, οι διαβουλεύσεις τηλεϊατρικής και το ηλεκτρονικό εμπόριο. Η πανδημία προώθησε την έρευνα και την ανάπτυξη της ψηφιακής υγείας και πρόσθεσε περισσότερες δυνατότητες στο ιατρικό περιβάλλον. Η τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης

δεδομένων και υπολογιστικούς πόρους με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας, της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας της υγειονομικής περίθαλψης. (Ahmed, I., Ahmad, M., Jeon, G., 2022).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι επωφελές για την απομακρυσμένη παρακολούθηση ή ιατρική περίθαλψη με τη χρήση έξυπνων συσκευών. Τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) και η τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να βοηθήσουν τους επαγγελματίες, καθώς πολλές δραστηριότητες θα πραγματοποιούνται εξ αποστάσεως μέσω ψηφιακής τεχνολογίας. Ασθενείς και γιατροί θα χρησιμοποιούν «ψηφιακά είδωλα» για την παραγωγή, προσαρμογή και ανταλλαγή πληροφοριών ώστε να επιτευχθεί τελικά η εικονική – πραγματική ολοκλήρωση και η εικονική – πραγματική σύνδεση. Ωστόσο, η συνεχής ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας φέρνει αναπόφευκτα και κάποιους κινδύνους, ειδικά στον ιατρικό τομέα που διέπεται από διαφορετικούς κανόνες σε σχέση με άλλους τομείς και διαθέτει ιδιαίτερη ηθική. Το θέμα που αξίζει να διερευνηθεί είναι η κατανόηση των ορίων του ιατρικού απόρρητου και η προστασία των ασθενών όσον αφορά τη διαχείριση των προσωπικών πληροφοριών με τη χρήση κανονισμών και δικλίδων προστασίας των προσωπικών δεδομένων τους. (Pora, E., Hilten, M., Oosterkamp, E., Bogaardt, M., 2021)

Το Digital Twin είναι μια εικονική αναπαράσταση μιας φυσικής ύπαρξης, η οποία έχει δυναμική σύνδεση με την αντίστοιχη εικονική. Ένα τέτοιο ψηφιακό δίδυμο μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες από τους οποίους συλλέγονται συνεχώς δεδομένα για το ανθρώπινο σώμα, ηλεκτρονικά αρχεία υγείας από ιατρικά ιδρύματα, υποκειμενική αίσθηση ή παρατηρούμενα συμπτώματα από ασθενείς και άλλες σχετικές πληροφορίες (π.χ. εκπαίδευση, σωματικές δραστηριότητες, κοινωνικοοικονομική κατάσταση, κ.λπ.). (Sun, M., Xie, et al., 2022)

Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, μπορεί να βοηθήσει τους ανθρώπους να ενημερώνονται για την κατάσταση της υγείας τους, να ανιχνεύουν και να αντιμετωπίζουν έγκαιρα πιθανά προβλήματα, ώστε να προβαίνουν στις απαραίτητες ενέργειες με σκοπό να αποτρέπουν την επιδείνωση της κατάστασης τους και να θεραπεύουν τις ασθένειες. (Song, Y., Qin, J., 2022)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

Λεονταρίδης Β., 2023, idpe_71446433%20(1).pdf%20Λεονταρίτης%20Βασίλειος.pdf

Μιχοπούλου Β., Ψηφιακά δίδυμα: Γιατί τα πάντα είναι θέμα πιστής αντιγραφής, 2021, <https://startupper.gr/news/77307/>

Μπασάς, Β., 2022, Τα Ψηφιακά Δίδυμα στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία έργων, <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/57808>

Σκιτζή, Γ., Ψηφιακά δίδυμα: η νέα τάση στην ικανότητα καταπολέμησης ασθενειών γνωστών και άγνωστων, 2021, Personalized Healthcare with Digital Twin, <https://health.economictimes.indiatimes.com/news/health-it/personalized-healthcare-with-digital-twin/86160165?redirect=1>

Ξενόγλωσση

Ahmed, I., Ahmad, M., Jeon, G.(2022). Integrating digital twins and deep learning for medical image analysis in the era of COVID-19. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.03.002>

Ahmed, M.N., Toor, A.S., O'Neil, K., et al., Cognitive computing and the future of health care cognitive computing and the future of healthcare: the cognitive power of IBM Watson has the potential to transform global personalized medicine, IEEE Pulse, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 4–9

Alaasam, A.B., Radchenko, G., Tchernykh, A., et al., Analytic study of containerizing stateful stream processing as microservice to support digital twins in fog computing, Progr. Comput. Software, 2020, vol. 46, pp. 511–525, <https://doi.org/10.1134/S0361768820080083>

Albahri, O.S., Albahri, A.S., Mohammed, K.I., et al., Systematic review of real-time remote health monitoring system in triage and priority-based sensor technology: taxonomy, open challenges, motivation and recommendations, J. Med. Syst., 2018, vol. 42, no. 5

Albraikan A. InHarmony: A Digital Twin for emotional well-being, PhD thesis. University of Ottawa; 2019. doi:10.20381/ruor-23480

Allam, Z.; Jones, D.S. Future (post-COVID) digital, smart and sustainable cities in the wake of 6G: Digital twins, immersive realities and new urban economies. *Land Use Policy* 2021, 101, 105201. [CrossRef]

Babiker A, El Hussein M, Al Nemri A, et al. Health care professional development: Working as a team to improve patient care. *Sudan J Paediatr.* 2014

Bagaria N, Laamarti F, Badawi HF, et al. Health 4.0: Digital Twins for Health and Well-Being. In: El Saddik A, Hossain MS, Kantarci B, editors. *Connected Health in Smart cities*. Cham: Springer; 2020. pp. 143–52

Barabási, A.-L.; Gulbahce, N.; Loscalzo, J. Network medicine: A network-based approach to human disease. *Nat. Rev. Genet.* 2011, 12, 56–68. [CrossRef] [PubMed]

Barricelli BR, Casiraghi E, Fogli D. A survey on Digital Twin: definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access.* 2019;7: 167653-167671

Barnabasa J., Rajb P, (2020). The human body: A digital twin of the cyber physical systems, <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004>

Barrios-Rodiles, M.; Brown, K.R.; Ozdamar, B.; Bose, R.; Liu, Z.; Donovan, R.S.; Shinjo, F.; Liu, Y.; Dembowy, J.; Taylor, I.W.; et al. High-Throughput Mapping of a Dynamic Signaling Network in Mammalian Cells. *Science* 2005, 307, 1621–1625. [CrossRef]

Bayer, J.; Prassl, A.J.; Pashaei, A.; Gomez, J.F.; Frontera, A.; Neic, A.; Plank, G.; Vigmond, E.J. Universal ventricular coordinates: A generic framework for describing position within the heart and transferring data. *Med. Image Anal.* 2018, 45, 83–93. [CrossRef]

Bergman, R.N.; Ider, Y.Z.; Bowden, C.R.; Cobelli, C. Quantitative estimation of insulin sensitivity. *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.* 1979, 236, E667. [CrossRef]

Björnsson B, Borrebaeck C, Elander N, et al. Digital twins to personalize medicine. *Genome Med.* 2019;12:4

Bodini R, Grinovero M, Corsico A, Marvisi M, Recchia GG, D'Antonio S, et al. Digital therapy in the treatment of asthma and COPD-epidemiology of development and use of an emerging health technology in respiratory medicine. *Eur Respir J* 2019;54 (Suppl 63):PA735

Bot, B.M., Suver, C., Neto, E.C., et al., The mPower study, Parkinson disease mobile data collected using ResearchKit, *Sci. Data*, 2016, vol. 3, p. 160011

Brookes, S.T.; Whitley, E.; Peters, T.J.; Mulheran, P.A.; Egger, M.; Davey Smith, G. Subgroup analyses in randomised controlled trials: Quantifying the risks of false-positives and false-negatives. *Health Technol. Assess.* **2001**, *5*, 1–56. [[CrossRef](#)]

Brunk, E.; Sahoo, S.; Zielinski, D.C.; Altunkaya, A.; Dräger, A.; Mih, N.; Gatto, F.; Nilsson, A.; Preciat Gonzalez, G.A.; Aurich, M.K.; et al. Recon3D enables a three-dimensional view of gene variation in human metabolism. *Nat. Biotechnol.* 2018, *36*, 272–281. [[CrossRef](#)]

Bruynseels, K.; Santoni de Sio, F.; van den Hoven, J. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. *Front. Genet.* 2018, *9*, 31. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Carozzi, F., Urban density and Covid-19, CEP Discussion Pap., London School of Economics and Political Science, Centre for Economic Performance, 2020, no. 1711

Case study: Post-Traumatic Stress (PTSD) – Open mHealth. <https://www.openmhealth.org/features/case-studies/case-study-post-traumatic-stress-ptsd/>.

Cited 28.04.2021

Case study: Type 1 diabetes – Open mHealth. <https://www.openmhealth.org/features/case-studies/case-study-type-1-diabetes/>. Cited 28.04.2021

Charles Meijer, Hae-Won Uh and Said el Bouhaddani, Digital Twins in Healthcare: Methodological Challenges and Opportunities, 2023 Oct 23;13(10):1522. doi: 10.3390/jpm13101522

Chen, C., Haddad, D., Selsky, J., et al., Making sense of mobile health data: an open architecture to improve individual- and population-level health, *J. Med. Internet Res.*, 2012, vol. 14, no, 4, p. e2152

Chen, M., Hao, Y., Hwang, K., et al., Disease prediction by machine learning over big data from healthcare communities, *IEEE Access*, 2017, vol. 5, pp. 8869– 8879

Cheng, L.; Kalvandi, M.; McKinstry, S.; Maddahi, A.; Chaudhary, A.; Maddahi, Y.; Tavakoli, M. Application of DenTeach in Remote Dentistry Teaching and Learning During the COVID-19 Pandemic: A Case Study. *Front. Robot. AI* 2021, 7, 611424. [CrossRef] [PubMed]

Chien, C.T.; Bartel, P.L.; Sternglanz, R.; Fields, S. The two-hybrid system: A method to identify and clone genes for proteins that interact with a protein of interest. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1991, 88, 9578–9582. [CrossRef] [PubMed]

Cirillo D, Valencia A. Big data analytics for personalized medicine. *Curr Opin Biotechnol.* 2019. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.03.004>

Citardi MJ, Agbetoba A, Bigcas JL, Luong A. Augmented reality for endoscopic sinus surgery with surgical navigation: a cadaver study. *Int Forum Allergy Rhinol* 2016;6(5):523-8

Clin, J. *Med.* 2022, 11, 6553 7 of 7 8. Pesapane, F.; Codari, M.; Sardanelli, F. Artificial intelligence in medical imaging: Threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *Eur. Radiol. Exp.* 2018, 2, 35. [CrossRef] [PubMed]

Croatti, A., Gabellini, M., Montagna, S., Ricci, A. (2020) On the Integration of Agents and Digital Twins in Healthcare, <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01623-5>

Croatti, A.; Gabellini, M.; Montagna, S.; Ricci, A. On the Integration of Agents and Digital Twins in Healthcare. *J. Med. Syst.* 2020, 44, 161. [CrossRef] [PubMed]

Dalla Man, C.; Rizza, R.A.; Cobelli, C. Meal Simulation Model of the Glucose-Insulin System. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2007, 54, 1740–1749. [CrossRef]

El Saddik, A.; Laamarti, F.; Alja’Afreh, M. The potential of digital twins. *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 2021, 24, 36–41. [CrossRef]

ELPP 2016: Big Data for Healthcare. <http://scet.berkeley.edu/wp-content/uploads/Big-Data-for-Healthcare-Report-ELPP-2016.pdf>. Cited 14.10.2020

Enders MR, Hoßbach N, editors. Dimensions of digital twin applications - a literature review. Association for Information Systems; 2019

Erol T, Mendi AF, Doğan D. The digital twin revolution in healthcare. Paper presented at: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), October 22-24, 2020:1-7; Istanbul, Turkey. doi:10.1109/ISMSIT50672.2020.9255249

European Commission | Community Research and Development Information Service (CORDIS). Using prediction models to manage the coronavirus outbreak. Published April 1, 2020. Accessed October 20, 2020. <https://cordis.europa.eu/article/id/415792-using-prediction-models-to-manage-the-corona-virus-outbreak>

Ewing, R.M.; Chu, P.; Elisma, F.; Li, H.; Taylor, P.; Climie, S.; McBroom-Cerajewski, L.; Robinson, M.D.; O'Connor, L.; Li, M.; et al. Large-scale mapping of human protein–protein interactions by mass spectrometry. *Mol. Syst. Biol.* 2007, 3, 89. [CrossRef]

Facchinetti, A.; Sparacino, G.; Cobelli, C. Signal Processing Algorithms Implementing the “Smart Sensor” Concept to Improve Continuous Glucose Monitoring in Diabetes. *J. Diabetes Sci. Technol.* 2013, 7, 1308–1318. [CrossRef] [PubMed]

Farahani, B., Firouzi, F., Chang, V., et al., Towards fogdriven IoT eHealth: promises and challenges of IoT in medicine and healthcare, *Future Gener. Comput. Syst.*, 2018, vol. 78, pp. 659–676

Fei Tao, Fangyuan Sui, Ang Liu, Qinglin Qi, Meng Zhang, Boyang Song, Zirong Guo, Stephen Lu, Andrew Nee, Digital Twin-Driven Product Design 106 Framework, *Int. J. Prod. Res.* 1–19 (2018), <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>

Filippo, M.D.; Damiani, C.; Vanoni, M.; Maspero, D.; Mauri, G.; Alberghina, L.; Pescini, D. Single-cell Digital Twins for Cancer Preclinical Investigation. In *Metabolic Flux Analysis in Eukaryotic Cells*; Nagrath, D., Ed.; Springer: New York, NY, USA, 2020; Volume 2088, pp. 331–343

Food D. How does Digital Twin fit into the context of COVID-19? *trans.info*. Published June 26, 2020. Accessed September 27, 2023. <https://trans.info/en/how-does-digital-twin-fit-into-the-context-of-covid-19-189982>

Foster, J.C.; Taylor, J.M.G.; Ruberg, S.J. Subgroup identification from randomized clinical trial data. *Stat. Med.* 2011, 30, 2867–2880. [CrossRef] [PubMed]

Free, C., Phillips, G., Watson, L., et al., The effectiveness of mobile-health technologies to improve health care service delivery processes: a systematic review and meta-analysis, *PLoS Med.*, 2013, vol. 10, no, 1, p. e1001363

Frühlich, H., Balling, R., Beerenwinkel, N., et al., From hype to reality: data science enabling personalized medicine, *BMC Med.*, 2018, vol. 16, no. 1, p. 1.

GE Healthcare Command Centers. Digital Twin. Accessed September 27, 2023. <https://www.gehccommandcenter.com/digital-twin>

Genevieve Coorey , Gemma A. Figtree, David F. Fletcher, Victoria J. Snelson, Stephen Thomas Vernon, David Winlaw, Stuart M. Grieve, Alistair McEwan, Jean Yee Hwa Yang, Pierre Qian, Kieran O’Brien, Jessica Orchard , Jinman Kim, Sanjay Patel, and Julie Redfern, The health digital twin to tackle cardiovascular disease—a review of an emerging interdisciplinary field, 2022 Aug 26;5(1):126.doi: 10.1038/s41746-022-00640-7

Gillettea K, Gsell M, Prassl A., Karabelas E, Reiter U., Reiter G, GranditsT., Payer C., Šterna,D. , Urschler M , Bayer J., Augustina C., Neici A., Pockf T., Vigmondi E., Planka,G. (2021). A Framework for the generation of digital twins of cardiac electrophysiology from clinical 12-leads ECGs. <https://doi.org/10.1016/j.media.2021.102080>

Gkouskou K, Vlastos I, Karkalousos P, Chaniotis D, Sanoudou D, Eliopoulos AG. The “Virtual Digital Twins” concept in precision nutrition. *Adv Nutr.* 2020; 11:1405-1413

Glaessgen, E.H. Stargel, D.S. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In Proceedings of the 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Honolulu, HI, USA, 23–26 April 2012

Gossmann, N. The Value of Digital Twin Technology. Available online: <https://healthmanagement.org/c/hospital/whitepaper/the-value-of-digital-twin-technology>, accessed on 2 October 2023

Grieves, M. (2015). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication, <https://www.researchgate.net/publication/275211047>

Group T.J.D.R.F.C.G.M.S., Continuous glucose monitoring and intensive treatment of type 1 diabetes, *New Engl. J. Med.*, 2008, vol. 359, no. 14, pp. 1464– 1476

Gysi, D.M.; Do Valle, Í.; Zitnik, M.; Ameli, A.; Gan, X.; Varol, O.; Ghiassian, S.D.; Patten, J.J.; Davey, R.A.; Loscalzo, J.; et al. Network medicine framework for identifying drug-repurposing opportunities for COVID-19. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2021**, *118*, e2025581118 [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)].

Hamlabadi, K.G.; Vahdati, M.; Saghiri, A.M.; Forestiero, A. Digital Twins in cancer: State-of-the-art and open research. In Proceedings of the Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE), Washington, DC, USA, 16–17 December 2021

Hartmann, D.; Van der Auweraer, H. Digital twins. In *Progress in Industrial Mathematics: Success Stories*; Springer: Cham, Switzerland, 2021; pp. 3–17

Hassani, H.; Huang, X.; MacFeely, S. Impactful Digital Twin in the Healthcare Revolution. *Big Data Cogn. Comput.* 2022, *6*, 83. [[CrossRef](#)]

Hernandez-Boussard T, Macklin P, Greenspan EJ, et al. Digital twins for predictive oncology will be a paradigm shift for precision cancer care. *Nat Med.* 2021; *27*:2065–6, <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01558-5>

Hernandez-Boussard, T.; Macklin, P.; Greenspan, E.J.; Gryshuk, A.L.; Stahlberg, E.; Syeda-Mahmood, T.; Shmulevich, I. Digital twins for predictive oncology will be a paradigm shift for precision cancer care. *Nat. Med.* 2021, *27*, 2065–2066. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Hochhalter, J., William P., Newman, J. A, Gupta, V. K, Yamakov, V., Cornell, S. R., Willard, S. A. Heber, G. (2014). Coupling Damage-Sensing Particles to the Digital Twin Concept, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20140006408>

Hoehme,S., Hammad,S., Boettger,J., Begher-Tibbe,B., Bucur,P.,VibertE., Gebhardt,R. Hengstler,G., Drasdo, D. Digital. (2023) Twin demonstrates significance of biomechanical growth control in liver regeneration after partial hepatectomy. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

lenca M, Vayena E. On the responsible use of digital data to tackle the COVID19 pandemic. Nat Med. 2020;26:463-464

Ivan Volkov, Gleb Radchenko, Andrey Tchernykh, Digital Twins, Internet of Things and Mobile Medicine: a Review of Current Platforms to Support Smart Healthcare, DOI:10.1134/S0361768821080284

Jardine, J., Fisher, J., and Carrick, B., Apple's ResearchKit: smart data collection for the smartphone era? ,J. R. Soc. Med., 2015, vol. 108, no. 8, pp. 294–296

Jens Konopik, Larissa Wolf, Oliver Schöffski, Digital twins for breast cancer treatment – an empirical study on stakeholders' perspectives on potentials and challenges, <https://doi.org/10.1007/s12553-023-00798-4>

Joyner, M.J. and Paneth, N., Seven questions for personalized medicine, J. Am. Med. Assoc., 2015, vol. 314, no. 10, pp. 999–1000

Kamel Boulos, M.N.; Zhang, P. Digital Twins: From Personalised Medicine to Precision Public Health. J. Pers. Med. 2021, 11, 745. [CrossRef] [PubMed]

Karakra A, Fontanili F, Lamine E, Lamothe J. HospiT'Win: A predictive simulation-based digital twin for patients pathways in hospital. Paper presented at: 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI); May 19-22, 2019; Chicago, IL. IEEE. doi:10.1109/bhi.2019

Kaul, R., Ossai, C., Forkan, A., Jayaraman, P., Zelcer, J., Vaughan, S., Wickramasinghe, N. (2022). The role of AI for developing digital twins in healthcare: The case of cancer, <https://doi.org/10.1002/widm.1480>

Kehl, V.; Ulm, K. Responder identification in clinical trials with censored data. *Comput. Stat. Data Anal.* 2006, 50, 1338–1355.[CrossRef]

Kovatchev, B. A Century of Diabetes Technology: Signals, Models, and Artificial Pancreas Control. *Trends Endocrinol. Metab.* 2019, 30, 432–444. [CrossRef] [PubMed]

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., et al., Digital twin in manufacturing: a categorical literature review and classification, *IFAC-PapersOnLine*, 2018, vol. 51, no. 11, pp. 1016–1022.

Li, H. and Ge, J., Cardiovascular diseases in China: current status and future perspectives, *IJC Heart Vasculature*, 2015, vol.

Liu Z., Meyendorf, N., Mrad, N. The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin. *AIP Conf Proc.* 2018, <https://doi.org/10.1063/1.5031520>

Lo, C. K., Chen, C. H., & Zhong, R. Y. (2021). A review of digital twin in product design and development. *Advanced Engineering Informatics*, 48, 101297

Maddahi, A.; Bagheri, S.; Mardan, M.; Kalvandi, M.; Maddahi, Y. Vibrotactile Method, Apparatus, and System for Training and Practicing Dental Procedures. U.S. Patent 17,271,470, 28 August 2019

Maddahi, Y.; Kalvandi, M.; Langman, S.; Capicotto, N.; Zareinia, K. RoboEthics in COVID-19: A Case Study in Dentistry. *Front. Robot. AI* 2021, 8, 612740. [CrossRef] [PubMed]

Maddahi, Y.; Kalvandi, M.; Maddahi, A.; Dhannapuneni, P. Automated Apparatus and Method for Quantifying Dimensions of Dental Preparations. U.S. Patent 63,164,759, 23 March 2021).

Malone B, Simovski B, Moliné C, Cheng J, Gheorghe M, Fontenelle H, et al. Artificial intelligence predicts the immunogenic landscape of SARS-CoV-2 leading to universal blueprints for vaccine designs. *Sci Rep* 2020;10(1):22375

Martinez-Velazquez, R.G.R.; El Saddik, A. Cardio Twin: A Digital Twin of the human heart running on the edge. In Proceedings of the International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Messina, Italy, 22–24 June 2022

Mastoi, Q.U.A., Wah, T.Y., Raj, R.G., et al., A novel cost-efficient framework for critical heartbeat task scheduling using the Internet of medical things in a fog cloud system, *Sensors* (Switzerland), 2020, vol. 20, no. 2

Mehra, A. Digital Twin Market Worth \$48.2 Billion by 2026. Available online: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/digital-twin.asp>, accessed on 2 October 2023

Meng, L., Miao, C., and Leung, C., Towards online and personalized daily activity recognition, habit modeling, and anomaly detection for the solitary elderly through unobtrusive sensing, *Multimedia Tools Appl.*, 2017, vol. 76, no. 8, pp. 10779–10799

Minhae Park, Namkee Oh, and Yong Gi Jung, Digital Twins in Healthcare and Their Applicability in Rhinology: A Narrative Review, <https://doi.org/10.18787/jr.2023.00018>

Mubarok, K., Xu, X., Ye, X., Zhong, R. Y. and Lu, Y., “Manufacturing service reliability assessment in cloud manufacturing,” *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 940–946, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.074.

Mourtzis D, Angelopoulos J, Panopoulos N, et al. A Smart IoT platform for Oncology Patient diagnosis based on AI: towards the Human Digital Twin. *Procedia CIRP*. 2021; 104:1686–91. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.284>

Nativi, S.; Mazzetti, P.; Craglia, M. Digital Ecosystems for Developing Digital Twins of the Earth: The Destination Earth Case. *Remote Sens.* 2021, 13, 2119. [CrossRef]

PD U. N.-D. of E. and S. A., 2013 undefined World population ageing 2013

Piron, L., Turolla, A., Agostini, M., et al., Exercises for paretic upper limb after stroke: a combined virtualreality and telemedicine approach, *J. Rehabil. Med.*, 2009, vol. 41, no. 12, pp. 1016–1020

Popa, E., Hilten, M., Oosterkamp, E., Bogaardt, M. (2021) The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks, <https://doi.org/10.1186/s40504-021-00113-x>

Privacy-Preserving Contact Tracing – Apple and Google. <https://covid19.apple.com/contacttracing>. Cited 10.11.2020

Qudah, B. and Luetsch, K., The influence of mobile health applications on patient – healthcare provider relationships: a systematic, narrative review, *Patient Educ. Couns.*, 2019, vol. 102, no. 6, pp. 1080–1089

Rasheed A, San O, Kvamsdal T. Digital Twin: Values, Challenges and Facilitators from a Modeling Perspective. Access: *IEEE* (2023) 8:21980–2012. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970143

Richards JP, Done AJ, Barber SR, Jain S, Son YJ, Chang EH. Virtual coach: the next tool in functional endoscopic sinus surgery education. *Int Forum Allergy Rhinol* 2020;10(1)

Rivera LF, Jiménez M, Angara P et al. (2019) Towards continuous monitoring in personalized healthcare through digital twins. In: *Proceedings of the 29th Annual International Conference on Computer Science and Software Engineering*, pp 329–335

Rodríguez-Aguilar R, Marmolejo-Saucedo J-A. Conceptual framework of Digital Health Public Emergency System: digital twins and multiparadigm simulation. *EAI Endorsed Trans Pervasive Health Technol.* 2020; 6:164261

Riedel P, Riesner M, Wendt K, Aßmann U. Data-driven digital twins in surgery utilizing augmented reality and machine learning. *Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops); 2022 May 16-20; Seoul, Korea: IEEE; 2022. p.580-5*

Rosa T, Bellardi K, Viana A Jr, Ma Y, Capasso R. Digital health and sleep-disordered breathing: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Sleep Med* 2018;14(9):1605-20

Rudner, J., McDougall, C., Sailam, V., et al., Interrogation of patient smartphone activity tracker to assist arrhythmia management, *Ann. Emerg. Med.*, 2016, vol. 68, no. 3, pp. S21–S25

Ruggiero R, Motta G, Massaro G, Rafaniello C, Della Corte A, De Angelis A, et al. Pharmacological, technological, and digital innovative aspects in rhinology. *Front Allergy* 2021; 2: 732909

Sadek, R.M., Mohammed, S.A., Abunbehan, A.R.K., et al., Parkinson's disease prediction using artificial neural network, *Proc. 8th Latin American Conf. on Biomedical Engineering and 42nd National Conf. on Biomedical Engineering, Cancún, 2019*, pp. 1060–106

Samidurai A, Das A. Cardiovascular complications associated with COVID-19 and potential therapeutic strategies. *Int J Mol Sci.* 2020; 21:6790.

Shengli, W., (2021). Is Human Digital Twin possible?
<https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2021.100014>

Shu H, Liang R, Li Z, Goodridge A, Zhang X, Ding H, et al. Twin-S: a digital twin for skull base surgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2023;18 (6) :1077-84

Simonds, S. Millions of Things Will Soon Have Digital Twins. Available online:
<https://www.economist.com/business/2017/07/13/millions-of-things-will-soon-have-digital-twins> (accessed on 2 October 2023)

Snyderman, R., Personalized health care: from theory to practice, *Biotechnol. J.*, 2012, vol. 7, no. 8, pp. 973– 979

Song, Y., Qin, J. Metaverse and Personal Healthcare. (2022)
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.10.136>

Steinhubl, S.R., Muse, E.D., Topol, E.J., et al., The emerging field of mobile health, *Sci. Transl. Med.*, 2015, vol. 7, no. 283, pp. 283rv3–283rv3

Sun, M., Xie, L., Liu, Y., Li, K., Jiang B, Lu, Y., Yang, Y., Yu, H., Song, Y., Bai, C., Yang, D. (2022) The metaverse in current digital medicine. <https://doi.org/10.1016/j.ceh.2022.07.002>

Taking an ECG with the ECG app on Apple Watch Series 4, Series 5, or Series 6 – Apple Support.
<https://support.apple.com/en-us/HT208955>. Cited 14.10.2020

Thomsen N. The role of digital twins in producing a COVID-19 vaccine. Atos. Published May 18, 2020. Accessed September 27, 2023. <https://atos.net/en/blog/the-role-of-digital-twins-in-producing-a-covid-19-vaccine>

Venkatesan P. NICE guideline on long COVID. *Lancet Respir Med.* 2021;9:129

Voigt, I., Inojosa, H., Dillenseger, A., et al., Digital twins for multiple sclerosis, *Front. Immunol.*, 2021, vol. 12, p. 1556

Walsh JR, Smith AM, Pouliot Y, et al. Generating Digital Twins with multiple sclerosis using probabilistic neural networks. *bioRxiv.* Published online April 19, 2020. doi:10.1101/2020.02.04.934679

Wang, S., Parsons, M., Stone-McLean, J., et al., Augmented reality as a telemedicine platform for remote procedural training, *Sensors*, 2017, vol. 17, no. 10, p. 2294

Wearable device for blood glucose level automatic diagnostics and correction in diabetic blood was created. iCover.ru company blog. <https://habr.com/ru/company/icover/blog/392085/>

Wickramasinghe N, Jayaraman PP, Forkan ARM, et al. A vision for leveraging the Concept of Digital Twins to support the provision of Personalized Cancer Care. *IEEE Internet Comput.* 2022; 26:17–24. <https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3065381>

Wickramasinghe, N., Jayaraman, P. P., Zelcer, J., Forkan, A. R.M., Ulapane, N., Kaul, R., & Vaughan, S., 2021

Worldometer. COVID-19 coronavirus pandemic. Accessed October 9, 2020. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>

World Health Organization. Cancer Control: diagnosis and treatment. Knowledge into Action - WHO Guide for effective programmes. Geneva: World Health Organization; 2008

World Health Organization. Guide to early cancer diagnosis. [Geneva, Switzerland]: World Health Organization; 2017

Xu, C.,¹ Yang, Y., Wei Gao, W. (2020). Skin-Interfaced Sensors in Digital Medicine: from Materials to Applications, <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.03.020>

Yang, W., Dall, T.M., Halder, P., et al., Economic costs of diabetes in the U.S. in 2012, *Diabetes Care*, 2013, vol. 36, no. 4, pp. 1033–1046

Zheng, P. Sivabalan, A., A Generic Tri-Model-Based Approach for ProductLevel Digital Twin Development in A Smart Manufacturing Environment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 64, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, August 2020, vol. 64, 2020