



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Υλικό-Λογισμικό μέτρησης ανθρώπινου
σώματος**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του:

ΜΙΧΑΗΛΑΚΗ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

ΑΕΜ:2349

Επιβλέπων: Δόσης Μιχαήλ

Καστοριά Νοέμβριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Υλικό-Λογισμικό μέτρησης ανθρώπινου
σώματος**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του:

ΜΙΧΑΗΛΑΚΗ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

ΑΕΜ:2349

Επιβλέπων: Δόσης Μιχαήλ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 03/11/2023

Δόσης Μιχαήλ
Καθηγητής

Βέργαδος Δημήτριος
Αναπληρωτής καθηγητής,
Πρόεδρος του τμήματος

Δημόκας Νικόλαος
Επίκουρος καθηγητής

Καστοριά Νοέμβριος 2023

Copyright © 2023 – ΜΙΧΑΗΛΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή: Με την ραγδαία εξέλιξη στον τομέας της ιατροτεχνολογίας και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και προτύπων φροντίδας στον κλινικό χώρο, ο τομέας λογισμικών μέτρησης δεικτών του ανθρώπινου σώματος (Mobile Medical Application, MMA) με την ανάπτυξη φορητών συσκευών αισθητήρων προσδιορισμού παραμέτρων φυσιολογικών λειτουργιών και βιοδεικτών έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Αυτά τα συστήματα παρέχουν μια συνεχή ροή δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης για την πρόληψη, τη διάγνωση και τη θεραπεία πολλών ασθενειών καταγράφοντας ενεργά τις φυσιολογικές παραμέτρους και παρακολουθώντας τη μεταβολική κατάσταση των ασθενών. Ως εκ τούτου, τα MMA έχουν τη δυνατότητα να γίνουν βασικός πυλώνας της παροχής υπηρεσιών υγείας του μέλλοντος.

Σκοπός: Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης ήταν ο εντοπισμός τεκμηριωμένων λογισμικών MMA και η παράθεση των παραμέτρων που μπορούν να αξιολογήσουν αξιόπιστα και η διερεύνηση των καταστάσεων υγείας των ενήλικων ασθενών στις οποίες στοχεύουν, καλύπτοντας το κενό της έλλειψης δεδομένων σχετικά με την ευρεία κλινική χρησιμότητα των MMA.

Μεθοδολογία: Πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση δημοσιεύσεων στις ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες δεδομένων PubMed και Scopus. Στη συνέχεια, ταξινομήθηκαν ως προς τη συνάφεια τους για να κατηγοριοποιηθούν και να δημιουργήσουν πεδία εφαρμογής των MMA στο κλινικό χώρο. Στη συνέχεια, από τα άρθρα επιλέχθηκαν τα πιο πρόσφατα, ολοκληρωμένα και αξιόπιστα συστήματα παρακολούθησης για να παρουσιαστούν, σύμφωνα με τα ερευνητικά δεδομένα των ερευνητών τους που αφορούν την ευαισθησία, ειδικότητα και προγνωστική ικανότητα των τεχνολογιών.

Αποτελέσματα: Συνολικά 81 σχετικές εργασίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη που εστίαζαν στη χρήση των MMA στο κλινικό πεδίο και την εφαρμογή των αισθητήρων. Η ανασκόπησης μας δείχνει ότι οι φορητές ιατρικές συσκευές που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε όλα τα μέρη του ανθρώπινου σώματος και περιλαμβάνουν πέντε βασικά χαρακτηριστικά: (1) την ασύρματη λειτουργία με δυνατότητα μετάδοσης των δεδομένων στην εκάστοτε

διεπιστημονική ομάδα, (2) τη διαδραστικότητα με τον ασθενή, (3) τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα των υλικών για χρήση εκτός νοσοκομειακού χώρου, (4) την απλή λειτουργία για χρήση από τον ασθενή και (5) την εύχρηστη μη επεμβατική φορητή εφαρμογή του. Η εφαρμογή φορητών συσκευών στον τομέα της ιατρικής στοχεύει στην προληπτική, προγνωστική, εξατομικευμένη και συμμετοχική ιατρονοσηλευτική φροντίδα. Επιπλέον, η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε πολυτροπικά συστήματα, στα οποία η αξιοποίηση πολλαπλών βιοδεικτών ταυτόχρονα αυξάνει το όφελος από την εφαρμογή τους. Δείξαμε τη δυνατότητα εφαρμογής τους για την παρακολούθηση αιμοδυναμικών παραμέτρων, κινητικών παραμέτρων, του ύπνου αλλά και βιοχημικού ελέγχου βιοδεικτών. Επίσης, αποτυπώθηκε η μη οριζόντια εφαρμογή των κατά τα άλλα αξιόπιστων συστημάτων MMA.

Συμπεράσματα: Τα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν πως η εφαρμογή των MMA αυξάνει την ποιότητα της παροχής φροντίδας και μετριάζει την έλλειψη πόρων, προσφέροντας χαμηλού κόστους συστήματα που η εφαρμογή τους φέρνει καλύτερη πρόγνωση για τους ασθενείς, με μειωμένο αριθμό επανεισαγωγών, καλύτερη έκβαση και μικρότερο χρόνο νοσηλείας κι συνεπακόλουθα μείωση του κόστους υγείας. Είναι επομένως, σημαντικό να γίνουν περαιτέρω έρευνες στον τομέα αυτό, για την ανάπτυξη νέων πολυτροπικών συστημάτων MMA, τα οποία να αξιοποιηθούν κατάλληλα βελτιώνοντας τις υπηρεσίες υγείας, βελτιστοποιώντας την έκβαση των ασθενών και αυξάνοντας την ικανοποίηση των χρηστών.

Λέξεις-κλειδιά: wearable, medical field, health monitoring, chronic disease management, rehabilitation, acute disease

Abstract

Introduction: With the rapid development in the field of medical technology and the development of new technologies and standards of care in the clinical space, the field of Mobile Medical Application (MMA) software with the development of wearable sensors for determining parameters of physiological functions and biomarkers has developed rapidly in recent years. These systems provide a continuous stream of healthcare data for the prevention, diagnosis and treatment of many diseases by actively recording physiological parameters and monitoring the metabolic status of patients. Therefore, MMAs have the potential to become a key pillar of the healthcare delivery of the future.

Aim: The purpose of this review was to identify evidence-based MMA software and list the parameters they can reliably assess and investigate the health conditions of the adult patients they target, filling the gap of lack of data on the broad clinical utility of MMAs.

Methods: We reviewed publications in PubMed and Scopus library. They were sorted according to their relevance to categorize and create fields of application of MMAs in the clinical setting. The most recent, comprehensive, and reliable monitoring systems were then selected from the articles to be presented, according to their researchers' research data regarding the sensitivity, specificity, and predictive ability of the technologies.

Results: A total of 81 relevant papers were used in the present study that focused on the use of MMAs in the clinical field and the application of sensors. Our review shows that the wearable medical devices developed so far are designed for use in all parts of the human body and include five main features: (1) wireless functionality with the ability to transmit data to the respective interdisciplinary team, (2) patient interactivity, (3) sustainability and durability of materials for use outside the hospital setting, (4) simple operation for patient use, and (5) its easy-to-use non-invasive portable application. The application of wearable devices in the field of medicine aims at preventive, predictive, personalized and participatory medical care. In addition, the present review highlighted multimodal systems, in which the utilization

of multiple biomarkers simultaneously increases the benefit of their application. We showed their applicability for monitoring hemodynamic parameters, motor parameters, sleep and biochemical control of biomarkers. The non-horizontal application of otherwise reliable MMA systems was also captured.

Conclusions: Research data show that the implementation of MMAs increases the quality of care delivery and mitigates the lack of resources, offering low-cost systems that their implementation brings a better prognosis for patients, with a reduced number of readmissions, a better outcome and a shorter hospital stay and consequent reduction in health costs. It is therefore important to carry out further research in this area, for the development of new multimodal MMA systems, which can be properly utilized by improving health services, optimizing patient outcomes and increasing user satisfaction.

Keywords: wearable, medical field, health monitoring, chronic disease management, rehabilitation, acute disease

Περιεχόμενα	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
Abstract.....	7
Ευρετήριο εικόνων	10
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1. Κλινικοί παράμετροι που αξιολογούνται μέσω αισθητήρων	15
1.1 Παράμετροι αιμοδυναμικής παρακολούθησης.....	16
1.2 Κινητικοί παράμετροι	18
1.3. Παρακολούθηση ύπνου.....	21
1.4 Παρακολούθηση βιοχημικών και αιματολογικών παραμέτρων	25
Κεφάλαιο 2. Λογισμικά μέτρησης δεικτών ανθρώπινου σώματος	28
2.1.Λογισμικά αιμοδυναμικής παρακολούθησης – Σύστημα.....	29
παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού HeartSense.....	29
2.2 Λογισμικά κινητικών παραμέτρων – Σύστημα αξιολόγησης και	
αποκατάστασης βάρδισης και ισορροπίας GamePad.....	32
2.3 Λογισμικά παρακολούθησης ύπνου – Σύστημα παρακολούθησης Chesma....	35
2.4 Λογισμικά ανίχνευσης βιολογικών βιοδεικτών – Σύστημα μέτρησης	
πολλαπλών βιοδεικτών στο ενδιάμεσο υγρό	39
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
Βιβλιογραφία	46

Ευρετήριο εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΙΜΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ HEARTSENSE.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3. 3Α. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ GAMEPAD. 3Β. ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΙΟΑΝΑΔΡΑΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΣΥΣΤΗΜΑ CHESMA.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 5. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΒΙΟΔΕΙΚΤΩΝ.....	40

Εισαγωγή

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών έφεραν σημαντικές αλλαγές και στον τομέα της υγείας. Πλέον, μεγάλος αριθμός ηλεκτρονικών εφαρμογών και λογισμικών χρησιμοποιείται στην καθημερινή κλινική πράξη, αναβαθμίζοντας τις υπηρεσίες υγείας και διευκολύνοντας το έργο των επαγγελματιών υγείας. Πλέον, η χρήση λογισμικών έχει εδραιωθεί σε όλους τους τομείς υγείας, αποτελώντας ένα ξεχωριστό τομέα της ηλεκτρονικής υγείας. Η υγεία των κινητών είναι ένας τομέας της ηλεκτρονικής υγείας (Geifman, Armes & Whetton, 2023). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), ο τομέας αυτός καλύπτει «ιατρικές πρακτικές και πρακτικές δημόσιας υγείας, οι οποίες υποστηρίζονται από κινητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, συσκευές παρακολούθησης ασθενών, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς και άλλες ασύρματες συσκευές» (WHO, 2017).

Επί του παρόντος σε αυτό τον τομέα κυριαρχούν οι εφαρμογές παραμέτρων υγείας για κινητά τηλέφωνα, που στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, της ευεξίας και της υγείας των χρηστών, μέσω της ανατροφοδότησης πληροφοριών για τις συμπεριφορές (Salmani, Ahmadi & Shahrokhi, 2020). Πλέον, αυτές οι εφαρμογές για κινητά μπορούν να συνδεθούν με ιατρικές συσκευές, βίο-αισθητήρες, ή συστήματα ανάλυσης δεδομένων, ενώ υπάρχουν εφαρμογές σε ερευνητικό επίπεδο, στις οποίες τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να εισαχθούν απευθείας στο ενιαίο ηλεκτρονικό αρχείο του ασθενούς (Baxter et al., 2020).

Ο όρος "Mobile Medical Application" (MMA) χρησιμοποιείται συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία για να καθορίσει λογισμικά που αποτελούν ιατροτεχνολογικά προϊόντα. Παρότι η χρήση του δεν είναι ακόμη οριζόντια πρακτική ρουτίνας σε όλα τα συστήματα υγείας, πολλά από αυτά χρησιμοποιούνται άλλοτε σε άλλο βαθμό στην κλινική πράξη. Κάθε εφαρμογή εξυπηρετεί έναν πολύ συγκεκριμένο και εξατομικευμένο στόχο, αλλά ο κλάδος ως σύνολο στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας της φροντίδας, την αύξηση της αποτελεσματικότητας των υπηρεσιών και τη βελτίωση της κλινικής έρευνας. Επιπλέον, τα MMA συμβάλλουν στην αύξηση της αυτονομίας και της αυτό-ευθύνης των χρηστών βελτιώνοντας το επίπεδο αυτό-φροντίδας και ενδυναμώνοντας τους ασθενείς. Αυτή η ενδυνάμωση δεν

αντικαθιστά την παρεχόμενη φροντίδα από τους επαγγελματίες υγείας, αλλά τη συμπληρώνει και την ολοκληρώνει με βέλτιστα αποτελέσματα για τους ασθενείς και τα συστήματα υγείας.

Υπάρχουν αρκετά συστήματα ταξινόμησης για την περιγραφή των MMA. Μια απλουστευμένη μέθοδος τα κατηγοριοποιεί είτε ως παθητικά είτε ως ενεργά (Herron, 2016). Οι εφαρμογές παθητικής mHealth εμφανίζουν στατικές σελίδες πληροφοριών υγείας ή ο ασθενής μπορεί να εισάγει πληροφορίες χειροκίνητα. Αντίθετα, οι ενεργές εφαρμογές δημιουργούν βάσεις δεδομένων υγείας (IMS, 2015). Στις ενεργές εφαρμογές ανήκουν εκείνα τα MMA που βασίζονται σε αισθητήρες. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες στα πλέον «έξυπνα» τηλέφωνα που χρησιμοποιούνται ευρέως (smartphone) είναι εύκολα προσβάσιμοι στις συσκευές αυτές απευθυνόμενοι σε δισεκατομμύρια χρήστες κινητών τηλεφώνων σε όλο τον κόσμο. Τα smartphones έχουν εξελιχθεί ώστε να ενσωματώνουν αισθητήρες περιβάλλοντος και θέσης για να αυξάνουν και να βελτιώνουν τη λειτουργικότητα της συσκευής (Sunpara et al., 2023). Επίσης, οι οθόνες αφής διευκολύνουν την εύλικτη παρουσίαση της οθόνης και την εκκίνηση εντολών, ενώ είναι πολύ εύκολη η οπτικοποίηση των δεδομένων (Mendes et al., 2016).

Μια ανασκόπηση του 2016, η οποία είχε ως στόχο την ανεύρεση εφαρμογών κλινικού και σχετικού με τη φροντίδα υγείας περιεχομένου, βρήκε στα ηλεκτρονικά καταστήματα εφαρμογών της Google και της Apple 36 εφαρμογές για κλινική διάγνωση και 44 εφαρμογές παρακολούθησης της υγείας των ασθενών, με τη χρήση αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι στο κινητό τηλέφωνο (Gan et al., 2016). Παραδείγματα εφαρμογών που βασίζονται σε αισθητήρες και προσφέρονται στους χρήστες smartphones περιλαμβάνουν εφαρμογές που χρησιμοποιούν την κάμερα των κινητών τηλεφώνων και προσφέρονται για διάγνωση με βάση την εικόνα των ματιών και του δέρματος, τη φωτοπληθυσμογραφική παρακολούθηση του σφυγμού και της εκτιμώμενης αρτηριακής πίεσης, καθώς και τις εφαρμογές διάγνωσης υπνικής άπνοιας χρησιμοποιώντας μικρόφωνα κινητών τηλεφώνων (Kao & Liebovitz, 2017).

Εν τούτοις, οι πληροφορίες σχετικά με τις διαδικασίες ελέγχου για την αδειοδότηση των εφαρμογών προς χρήση δεν είναι δημόσια διαθέσιμες (Parker et

al., 2017). Η ποιότητα και η ασφάλεια των εφαρμογών MMA που προσφέρονται ευρέως από αυτά τα τεράστια καταστήματα αμφισβητούνται από τους ειδικούς (Albrecht et al., 2019).

Επιπλέον των MMA και της σωρείας ανάπτυξης MMA, η χρήση αισθητήρων έχει προχωρήσει στο κλινικό πεδίο, με αποτέλεσμα πλέον να υπάρχουν συσκευές που φέρουν αισθητήρες, όπως τα «έξυπνα» κρεβάτια, τεχνολογική εξέλιξη που έχει οδηγήσει στη βελτίωση της ποιότητας και της ταχύτητας της παροχής υπηρεσιών στους ασθενείς (Ajami et al., 2011). Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network, WSN), όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι μία από αυτές τις τεχνολογίες που αναφέρεται σε ένα σύνολο αισθητήρων που συνδέονται ασύρματα και όλοι ανιχνεύουν ένα συγκεκριμένο φαινόμενο. Ο αριθμός αυτών των αισθητήρων μπορεί να είναι πολύ μεγάλος ή/και μπορεί να είναι διασκορπισμένοι σε ένα ευρύ πεδίο. Στόχος των ερευνητών του πεδίου αυτού είναι πρωτίστως η αξιόπιστη και έγκαιρη συλλογή πληροφοριών με τη χρήση πιο ώριμων τεχνολογιών ασύρματου δικτύου με τη χρήση πιο διακριτικών μικρών συσκευών αισθητήρων που επιτρέπουν όχι μόνο ακριβείς πληροφορίες αλλά και αξιόπιστη παράδοση δεδομένων.

Δεδομένης της δυνατότητας βελτίωσης της παροχής φροντίδας που προκύπτει από τη διαθεσιμότητα και τη χρησιμότητα των ενσωματωμένων αισθητήρων σε δισεκατομμύρια smartphones παγκοσμίως και η ανάπτυξη των WSN, ο σκοπός αυτής της ανασκόπησης ήταν να εντοπίσει στη διεθνή βιβλιογραφία και τις διεθνείς βάσεις δεδομένων Pubmed και Scopus, τεκμηριωμένα λογισμικά MMA και WSN και να αξιολογήσει ποιες παραμέτρους μπορούν να αξιολογήσουν αξιόπιστα και σε ποιες καταστάσεις υγείας απευθύνονται. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στα λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί για τον ενήλικο πληθυσμό. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός MMA και WSN στη διεθνή βιβλιογραφία, που απευθύνονται για χρήση σε παιδιατρικούς ασθενείς, με οξεία και χρόνια νόσο.

Το πρώτο Κεφάλαιο της μελέτης αφορά την παρουσίαση των κλινικών παραμέτρων που μπορούν να μετρηθούν μέσω αισθητήρων και στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζονται επιλεγμένα βάσει της αξιοπιστίας τους λογισμικά

παρακολούθησης ασθενών που αφορούν τις προαναφερθείσες κλινικές παραμέτρους.

Κεφάλαιο 1. Κλινικοί παράμετροι που αξιολογούνται μέσω αισθητήρων

Η παρακολούθηση των ανθρώπινων φυσιολογικών λειτουργιών με τη χρήση αισθητήρων γίνεται όλο και πιο δημοφιλής σε περιβάλλοντα υπηρεσιών υγείας (Seshadri et al., 2019). Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η εφαρμογή MMA στην κλινική πράξη, βελτιώνουν τους δείκτες ποιότητας της παρεχόμενης φροντίδας, όπως η έκβαση του ασθενούς και το κόστος υγείας (Huifeng, Kadry & Raj, 2020). Στη μελέτη των Altman et al. (2019) βρέθηκε πως η εφαρμογή MMA για την παρακολούθηση της αποκατάστασης μετά από χειρουργική επέμβαση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα της μετεγχειρητικής αποκατάστασης, μειώνοντας σημαντικά τον αποκατάστασης εκτός κλινικών κέντρων.

Η μέτρηση ζωτικών και φυσιολογικών παραμέτρων ενός ανθρώπου είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση όλων των παθολογικών καταστάσεων των ασθενών. Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας αισθητήρων και ασύρματων δικτύων, μαζί με την αυξημένη διαθεσιμότητα, το χαμηλότερο κόστος και τις εξελίξεις στις ατομικές ηλεκτρονικές συσκευές, έχει ανοίξει το δρόμο για την έρευνα και την ανάπτυξη νέων φορητών συσκευών και αισθητήρων στον τομέα της υγείας. υγειονομικής περίθαλψης (Calabrese et al., 2020; Khan et al., 2016). Οι φορητές συσκευές παρακολούθησης μπορούν να παρέχουν μια συνεχή και σε πραγματικό χρόνο ροή φυσιολογικών δεδομένων, δημιουργώντας ακριβή και εξατομικευμένα θεραπευτικά πλάνα και συμβάλλοντας στη λήψη κλινικών αποφάσεων της διεπιστημονικής ομάδας.

Οι παράμετροι που αξιολογούν οι διαθέσιμοι έως τώρα αισθητήρες, είναι παράμετροι αιμοδυναμικής παρακολούθησης (αναπνευστικός ρυθμός, καρδιακός ρυθμός, αρτηριακή πίεση και κορεσμός οξυγόνου του αίματος) (Aziz et al., 2021; Thangada et al., 2018), κινητικές παραμέτρους (μέτρηση βημάτων, κίνδυνος πτώσεων) (Kyungkwan et al., 2019), παρακολούθηση ύπνου (Hathaliya & Tanwar, 2020), βιοχημικοί βιοδείκτες (μέτρηση γλυκόζης, μέτρηση αιμοσφαιρίνης αίματος) (Reddy et al., 2022; Aziz et al., 2021).

1.1 Παράμετροι αιμοδυναμικής παρακολούθησης

Η αιμοδυναμική παρακολούθηση παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση και διαχείριση των ασθενών, είτε με οξεία είτε με χρόνια νόσο (Vincent et al., 2011). Η αιμοδυναμική παρακολούθηση μπορεί να είναι χρήσιμη σε δύο βασικές εκδοχές. Πρωτίστως, όταν ένα πρόβλημα έχει αναγνωριστεί, όπου η παρακολούθηση μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό των υποκείμενων παθοφυσιολογικών διεργασιών, ώστε να μπορούν να επιλεγούν οι κατάλληλες μορφές θεραπείας, όπως γίνεται σε ένα οξύ υπογλυκαιμικό σοκ, κατάσταση στην οποία οι μετρήσεις των ζωτικών σημείων παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της θεραπείας. Δευτερευόντως, αφορά προληπτική παρακολούθηση, η οποία επιτρέπει την εκτέλεση προληπτικών ενεργειών πριν προκύψει σημαντικό πρόβλημα. Για παράδειγμα σε ένα ασθενή με Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια, που η παρακολούθηση του κορεσμού οξυγόνου βοηθάει στην αξιολόγηση της εξέλιξης της νόσου.

Αν και οι αλλαγές στη μικροκυκλοφορία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη δυσλειτουργίας οργάνων και πολλαπλής ανεπάρκειας οργάνων και υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για νέες τεχνικές παρακολούθησης της μικροκυκλοφορίας, αυτές δεν είναι ακόμη διαθέσιμες στην κλινική πράξη, και επομένως η αιμοδυναμική παρακολούθηση εξακολουθεί να επικεντρώνεται στη μακροκυκλοφορία. Η τρέχουσα αιμοδυναμική παρακολούθηση, για την οποία διατίθενται ηλεκτρονικοί αισθητήρες, αφορά τη μέτρηση των ζωτικών σημείων τα οποία περιλαμβάνουν τη μέτρηση του καρδιακού ρυθμού, της αρτηριακής πίεσης, του αναπνευστικού ρυθμού και παράμετροι όπως ο κορεσμός οξυγόνου (SPO₂).

Η αιμοδυναμική παρακολούθηση παρέχει πληροφορίες των φυσιολογικών παραμέτρων στους επαγγελματίες υγείας. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τον καλύτερο χαρακτηρισμό και τη θεραπεία παθήσεων. Ο τρόπος με τον οποίο παρέχονται οι πληροφορίες αναφορικά με την αξιοπιστία των μετρήσεων, είναι καθοριστικός για τη λήψη αποφάσεων. Η σημασία της οπτικοποίησης των δεδομένων για την γρήγορη απορρόφηση και επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, είναι εξέχουσα και αποτελεί στόχο των ερευνητών στην ανάπτυξη λογισμικών αιμοδυναμικής παρακολούθησης (Bantug et al., 2016). Οι έρευνες έχουν δείξει πως ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί να επεξεργάζεται πολλές εικόνες

ταυτόχρονα, αλλά δεδομένα κειμένου μόνο λίγα. Επιπλέον, οι εικόνες επιτρέπουν την άμεση αναγνώριση προτύπων και τάσεων (Snyder et al., 2019).

Πλέον υπάρχουν διαθέσιμοι αισθητήρες για την αιμοδυναμική παρακολούθηση, που καταγράφουν τις μετρήσεις και η αξιολόγηση μπορεί να γίνει από οποιαδήποτε οθόνη δίπλα στο κρεβάτι ή απομακρυσμένα από ένα κινητό τηλέφωνο (Barrachina Larraza, Alvarez Guerras & Lopez-Picado, 2014). Τα μικρο- και νανοηλεκτρομηχανικά συστήματα (Micro - nanoelectro mechanical systems, MEMS και NEMS, αντίστοιχα), οι βιοχημικές καινοτομίες και οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές πιστεύεται πως πρόκειται να φέρουν επανάσταση στον κόσμο των αισθητήρων αιμοδυναμικής παρακολούθησης. Χάρη σε αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις, οι αισθητήρες μπορούν να μικρύνουν κατά πολύ σε μέγεθος. Μερικά δεν είναι μεγαλύτερα από ένα μικρό επίθεμα ή μια κεφαλή καρφίτσα, δίνοντας αξιόπιστα σήματα τα οποία απεικονίζονται με τη μορφή κυματομορφής (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Παραδείγματα ψηφιακών μεθόδων για την παρακολούθηση αιμοδυναμικών παραμέτρων. Α. Κινητό τηλέφωνο Β. Ψηφιακό ρολόι με ενσωματωμένο αισθητήρα, Γ. Ασύρματο επίθεμα μέτρησης αρτηριακής πίεσης, Δ. ΗΚΓ εγγραφής μπλουζών 12 απαγωγών. [Αναπαραγωγή από Michard, 2016]

Οι αισθητήρες αυτοί έχουν μικρό κόστος και λόγω του μικρού μεγέθους, της μη επεμβατικής τους τοποθέτησης και της ασύρματης λειτουργίας τους η απομακρυσμένη αξιόπιστη αιμοδυναμική παρακολούθηση στην κλινική πράξη θα

αποτελέσει μελλοντική πραγματικότητα (Michard, 2016). Μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή τους επιτρέπει την κατ'οίκον παρακολούθηση ασθενών με χρόνια νοσήματα, την έγκαιρη ανίχνευση της επιδείνωσης, τις πρώιμες τροποποιήσεις της θεραπείας και την εξαιρετικά σημαντική μείωση των επανεισαγωγών στο νοσοκομείο φέρνοντας μία νέα εποχή στην αιμοδυναμική παρακολούθηση (Adamson et al., 2014). Σήμερα μπαίνουμε σε μια νέα εποχή όπου, χάρη στους φορητούς ή εμφυτεύσιμους αισθητήρες, η αιμοδυναμική παρακολούθηση θα είναι δυνατή από το σπίτι. Θα δημιουργήσει όσες ευκαιρίες εγείρει ερωτήματα: Ποιος πρέπει να ρυθμίζει τη χρήση αυτών των νέων προϊόντων και εφαρμογών λογισμικού, ποιο και πού είναι το σύνορο μεταξύ ιατρικών και καταναλωτικών προϊόντων, μπορούμε να εμπιστευτούμε τις μετρήσεις, τι πρέπει να παρακολουθείται και σε ποιον, ποιος πρόκειται να λάβει, να ερμηνεύσει και να προστατεύσει τις πληροφορίες, ποιος είναι ο αντίκτυπος στη φροντίδα των ασθενών και ποιος θα πληρώσει για αυτό;

1.2 Κινητικοί παράμετροι

Επίσης, με τον συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό και τη γήρανση του πληθυσμού (Ghamari et al., 2016), τα συστήματα υγείας κατακλύζονται από τη φροντίδα των ηλικιωμένων και των ευάλωτων ομάδων σε νοσοκομεία, γηροκομεία και κλινικές (Yeganeh, 2019). Υπολογίζεται πως το κόστος που δαπανάται για την κάλυψη των αναγκών των ηλικιωμένων συνταξιούχων, σε προηγμένα κράτη όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, είναι το διπλάσιο σε σχέση με αυτό που δαπανάται για τον πληθυσμό μέσης ηλικίας από ό,τι για τον πληθυσμό της εργατικής τάξης (Woznowski et al., 2015). Οι πτώσεις στον γηριατρικό πληθυσμό εκτιμάται ότι κοστίζουν περίπου 2 δισεκατομμύρια λίρες στο ΗΒ και 34 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως στις ΗΠΑ (Uzor & Baillie, 2018). Ως αποτέλεσμα, η απομακρυσμένη παρακολούθηση της κινητικότητας του πληθυσμού αυτού είναι ουσιαστική για την πρόληψη επιδεινούμενων κινητικών δυσκολιών και ως εκ τούτου για τη μείωση των εισαγωγών στο νοσοκομείο. Επίσης, η παρακολούθηση κινητικών παραμέτρων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της αποκατάστασης της κινητικής λειτουργίας, κυρίως στον τομέα της νευρολογίας και της ορθοπεδικής.

Οι μετρήσεις της συμπεριφοράς της κίνησης σε διαφορετικές χρονικούς περιόδους μπορεί να βοηθήσουν στην αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση της κινητικής μάθησης του ασθενούς. Οι φορητοί αισθητήρες κίνησης ενεργοποιούνται από την κίνηση του χρήστη μετρώντας τον προσανατολισμό σώματος, της κίνησης, της κατεύθυνσης και της φυσιολογικής κινητικής κατάστασης, ιδίως σε περιβάλλοντα σπιτιού (Hadjidj et al., 2018). Οι πληροφορίες που συλλέγονται παρέχουν στους επαγγελματίες υγείας δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση και ενίσχυση των κινητικών δραστηριοτήτων και τη βελτιστοποίηση της κινητικής αποκατάστασης.

Η κλινική τους σημασία στοχεύει στην αξιολόγηση της κινητικότητας κυρίως ασθενών με ιστορικό αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου. Οι αισθητήρες κίνησης μπορούν να ανιχνεύσουν προβλήματα αστάθειας προειδοποιώντας για επικείμενη πτώση (Mancini et al., 2015). Οι εφαρμογές βηματικής δραστηριότητας που βασίζονται σε επιταχυνσιόμετρο έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της φυσικής δραστηριότητας στο σπίτι και την κοινότητα, παρέχοντας έγκαιρα και έγκυρα δεδομένα κίνησης για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση υπερήλικων ασθενών (Owaki et al., 2015).

Στην παρακολούθηση ασθενών με νόσο Parkinson επίσης, έχουν εφαρμογή οι αισθητήρες κίνησης. Οι έρευνες έχουν στοχεύσει στην ανάπτυξη συστημάτων ανίχνευσης περιόδων κινητικών διακυμάνσεων μεταξύ κινητών και ακίνητων καταστάσεων (Rodríguez-Molinero et al., 2015) και στην παρακολούθηση των πρωτογενών σωματικών συμπτωμάτων της νόσου, όπως ο τρόμος, οι δυσκινησίες και η βραδυκινησία, παρακολούθηση συμπτωμάτων που συμβάλλει και στην αξιολόγηση της εξέλιξης της νόσου (Mancini et al., 2015). Οι έρευνες έχουν δείξει πως οι βασικές μετρήσεις βάρδισης μπορούν να προβλέψουν την εξέλιξη της νόσου αξιολογώντας τη μείωση της βάρδισης 1 και 2 χρόνια αργότερα (Cavanaugh et al., 2015).

Άλλο νόσημα στην εξέλιξη της διαχείρισης του οποίου έχουν συμβάλει οι αισθητήρες κίνησης είναι η οστεοαρθρίτιδα γόνατος. Σε μια μεγάλη επιδημιολογική μελέτη των Dunlop et al. (2011), χρησιμοποιήθηκαν φορητοί αισθητήρες κίνησης για την παρακολούθηση της σωματικής δραστηριότητας 1.111 ενήλικων με

οστεοαρθρίτιδα. Η μελέτη έδειξε ότι τα άτομα που πάσχουν εμφανίζουν περισσότερο καθιστική συμπεριφορά με χειρότερη φυσική λειτουργία και μεγαλύτερο κίνδυνο μελλοντικής πτώσης επισημαίνοντας τις επιπτώσεις της μειωμένης σωματικής δραστηριότητας στην υγεία.

Οι πιο αξιόπιστοι αισθητήρες είναι εκείνοι που βασίζονται στην άσκηση της πελματικής δύναμης και συνήθως ενσωματώνονται σε υποδήματα για τη μέτρηση της αλληλεπίδρασης του σώματος με τη γείωση κατά το περπάτημα (Khandan et al., 2022). Αυτοί οι αισθητήρες περιλαμβάνουν υποδοχείς με ευαισθησία στο φορτίο ή αντιστάσεις ευαίσθητες στη δύναμη που χαρακτηρίζουν το βάδισμα. Άλλοι αισθητήρες μπορούν να προσαρμοστούν στην πτέρνα του ασθενούς, επιτρέποντας την παρακολούθηση των φάσεων επανάληψης που η φτέρνα ασκεί πίεση κατά τη διάρκεια του βαδίσματος. Επίσης, υπάρχουν και αισθητήρες μέσα στην εσωτερική επιφάνεια του παπουτσιού που στοχεύει στην παρακολούθηση του προτύπου βαδίσματος του ασθενούς και την εκτίμηση των κατακόρυφων δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους σε όλο τον κύκλο βάδισης (Byl et al., 2015).

Μειονεκτήματα των αισθητήρων αυτών περιλαμβάνουν την ευαισθησία τους σε μηχανική φθορά με την πάροδο του χρόνου, τις περιορισμένες άμεσες μετρήσεις σε γεγονότα κατά τη διάρκεια της στάσης και την πιθανή αλλοίωση των αποτελεσμάτων από την υγρασία και τη θερμοκρασία που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του παπουτσιού (Blades et al., 2023).

Τα είδη των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της βάδισης είναι τα γυροσκόπια, τα επιταχυνσιόμετρα, τα μαγνητόμετρα και οι αισθητήρες που μετρούν την ασκούμενη δύναμη. Τα γυρόμετρα μετρούν το ρυθμό μεταβολής της γωνίας κίνησης ανιχνεύοντας τις δυνάμεις Coriolis, οι οποίες ορίζονται ως οι δυνάμεις που δρουν σε μία κινούμενη μάζα σε ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς (Tao et al., 2012). Τα γυροσκόπια τοποθετούνται σε τμήματα του σώματος στην ίδια γραμμή με το επίπεδο κίνησης που αξιολογείται, ενώ τα τριαξονικά γυροσκόπια επιτρέπουν την τρισδιάστατη χρήση παρακολουθώντας ταυτόχρονα όλες τις γωνίες βάδισης. Το βασικό πλεονέκτημα των αισθητήρων αυτών είναι ότι οι μετρήσεις τους δεν επηρεάζονται από βαρυτικές δυνάμεις και δονήσεις βάδισης (Hendriks et al., 2022). Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν τις κινήσεις

του σώματος ανιχνεύοντας τον ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας. Αν και υπάρχουν πολλές κατηγορίες επιταχυνσιόμετρων, τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα στην αξιολόγηση της κινητικής κατάστασης των ασθενών είναι οι μετρητές καταπόνησης, οι αισθητήρες χώρου, και οι πιεζο-ανθεκτικοί και πιεζοηλεκτρικοί (Zhang et al., 2021). Τα επιταχυνσιόμετρα που χρησιμοποιούνται στην κλινική πράξη έχουν συνήθως ένα έως τρεις άξονες αίσθησης, οι οποίοι επιτρέπουν την ανίχνευση κίνησης σε μίας έως τρεις διαστάσεις αντίστοιχα. Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συνεχή παρακολούθηση του βαδίσματος, της κινητικότητας και των δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής. Οι περιορισμοί των συγκεκριμένων αισθητήρων αφορούν τη χαμηλή αξιοπιστία στη μέτρηση μη δυναμικών γεγονότων και της επίδρασης της βαρύτητας στο σήμα επιτάχυνσης (Hammond-Haley et al., 2021). Τα μαγνητόμετρα είναι συσκευές που ανιχνεύουν το διάνυσμα της βαρύτητας της Γης. Οι μετρήσεις τους παρέχουν πληροφορίες για τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με τη βαρύτητα (Rueterbories et al., 2010). Επειδή τα μαγνητόμετρα δεν είναι ευαίσθητα στην επιτάχυνση κατά τη διάρκεια δυναμικών κινήσεων, συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με επιταχυνσιόμετρα επιτρέποντας τον διαχωρισμό των βαρυτικών συνιστωσών από τα δεδομένα κινηματικής επιτάχυνσης.

1.3. Παρακολούθηση ύπνου

Ο ύπνος είναι μια θεμελιώδης βιολογική διαδικασία για τον άνθρωπο, καθώς παίζει θεμελιώδη ρόλο στη διατήρηση της σωματικής, ψυχολογικής, συναισθηματικής και κοινωνικής υγείας χάρη στις επανορθωτικές, αναγεννητικές, συντηρητικές, εδραιωτικές και προστατευτικές λειτουργίες του (Worley, 2018). Η κακή ποιότητα του ύπνου ή η ανεπαρκής διάρκειά του μπορεί να έχει βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, όπως μείωση της ποιότητας ζωής, δυσκολία συγκέντρωσης, μαθησιακά προβλήματα, κακή διάθεση, υπερβολική υπνηλία κατά τη διάρκεια της ημέρας, ατυχήματα διαφόρων τύπων, αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, αυξημένη τάση για προσβολή λοιμώξεων και ασθενειών κ.λπ. (Garbarino et al., 2021). Πολλές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, όπως ο αυξημένος κίνδυνος υπέρτασης, διαβήτη, παχυσαρκίας, κατάθλιψης,

καρδιακής προσβολής και αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου, έχουν συσχετιστεί με τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των διαταραχών ύπνου και της στέρησης ύπνου (Gottlieb et al., 2018). Οι πιο συχνές διαταραχές ύπνου περιλαμβάνουν την αϋπνία, την υπνική άπνοια, το σύνδρομο ανήσυχων ποδιών (Restless Legs Syndrome, RLS), την υπερυπνία, την παραυπνία, τις διαταραχές του κιρκάδιου ρυθμού, την αποφρακτική άπνοια ύπνου, τη νυχτερινή, επιληψία και έναν αριθμό άλλων διαταραχών λιγότερο κοινών (MedlinePlus, 2023). Σε όλες αυτές τις διαταραχές η παρακολούθηση και η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του ύπνου των ασθενών είναι υψίστης σημασίας για την πρόληψη ασθενειών (Robbins et al., 2019).

Το gold standard για την αξιολόγηση της ποιότητας του ύπνου παραμένει ο εγκεφαλογράφος πολλαπλών παραμέτρων (HEG), ο οποίος αποτυπώνει την εγκεφαλική δραστηριότητα και μπορεί να αξιολογήσει ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του ύπνου (Behzad & Behzad, 2021). Ο HEG είναι το εργαλείο αναφοράς για τη διάγνωση διαταραχών ύπνου και την αντικειμενική ανάλυση της μακρο-αρχιτεκτονικής και της μικροαρχιτεκτονικής του ύπνου. Το μεγάλο μειονέκτημα του είναι ότι αποτελεί μία διαγνωστική μέθοδο η οποία απαιτεί πολύ ογκώδη κλινικά όργανα και τη διενέργεια του σε ειδικές μονάδες ύπνου. Από την άλλη πλευρά, απαιτεί σημαντικό αριθμό καναλιών και μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων που συνδέονται με τον ασθενή προκαλώντας σε αρκετές περιπτώσεις αφενός τη δυσαρέσκεια του και αφετέρου μείωση στην ποιότητα του σήματος (Mayo Clinic, 2023). Επιπλέον, απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό τόσο για την εφαρμογή του στον ασθενή όσο και για την αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ο ύπνος ταξινομείται σε δύο διακριτά στάδια: τον NREM και τον REM. Ο NREM ύπνος χαρακτηρίζεται από μια σταδιακή μείωση της αντιδραστικότητας σε ερεθίσματα, αργές κινήσεις των ματιών, ελαφρώς μειωμένη κινητικότητα, αναστρέψιμη ασυνείδητη κατάσταση και συγχρονισμένο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (HEG) που χαρακτηρίζεται από δραστηριότητα αργών κυμάτων μειωμένο μυϊκό τόνο. Ο REM ύπνος χαρακτηρίζεται από γρήγορες κινήσεις των ματιών, μειωμένη αντιδραστικότητα σε ερεθίσματα, μυϊκή ατονία, γρήγορους ρυθμούς, μυοκλονικές ακούσιες κινήσεις και αποσυγχρονισμένο HEG. Στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά, κατά τη διάρκεια του REM ύπνου παρατηρούνται

περιοδικές μεταβολές της αρτηριακής πίεσης και του καρδιακού ρυθμού, ακανόνιστη αναπνοή, ενώ μπορεί να συμβούν επεισόδια άπνοιας ή υπόπνοιας (Liu et al., 2023). Τα δύο στάδια εναλλάσσονται με κυκλικό τρόπο, από 4 έως 6 κύκλους κατά τη διάρκεια του ύπνου, ο καθένας από τους οποίους διαρκεί από 90 έως 110 λεπτά. Το 20% - 25% της συνολικής διάρκειας του ύπνου στους ενήλικες δαπανάται σε ύπνο REM, ενώ το υπόλοιπο 75-80% σε ύπνο NREM. Σε έναν υγιή ενήλικα, υπάρχει μια σταδιακή εξέλιξη από την εγρήγορση στην έναρξη του ύπνου, τον ύπνο NREM και τον ύπνο REM (Liu et al., 2023). Αυτή η εναλλαγή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ωρίμανση του νευρικού συστήματος και τη ρύθμιση του κερκάδιου ρυθμού ύπνου και της αφύπνισης.

Ωστόσο, ο ύπνος υπόκειται σε ένα πολύπλοκο πρότυπο ύπνου-εγρήγορσης στο οποίο εμπλέκονται ατομικοί, κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί παράμετροι (Buysse, 2014). Τα χαρακτηριστικά εκείνα τα οποία δείχνουν ένα υγιές πρότυπο ύπνου περιλαμβάνουν την υποκειμενική ικανοποίηση, τον βέλτιστο συγχρονισμό, την επαρκή διάρκεια, την υψηλή αποτελεσματικότητα και τη διατήρηση της προσοχής κατά τις ώρες αφύπνισης. Για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του ύπνου, οι ειδικοί έχουν εστιάσει στην ανεύρεση ποσοτικών αντικειμενικών δεδομένων που θα μπορούν με αξιοπιστία να αξιολογήσουν την ποιότητα του ύπνου. Η ποσοτικοποίηση της υγείας των προτύπων ύπνου περιλαμβάνει ένα σύνολο μετρήσιμων ποσοτήτων που σχετίζονται με τη σωματική, πνευματική και νευροσυμπεριφορική συμπεριφορά του ατόμου. Μερικά από τα ποσοτικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τη διάρκεια του ύπνου, τη συνέχεια, τον συγχρονισμό, το επίπεδο εγρήγορσης μετά τον ύπνο, την σχέση ικανοποίησης/ποιότητας ύπνου. Το κενό ωστόσο παραμένει πως όλα τα χαρακτηριστικά βασίζονται σε υποκειμενικές αξιολογήσεις. Με τους αισθητήρες που αξιολογούν τον ύπνο γεφυρώνεται το χάσμα μεταξύ υποκειμενικότητας και ποσοτικής αξιολόγησης, με αποτέλεσμα την αντικειμενική αξιολόγηση των προτύπων ύπνου.

Για την αξιολόγηση του ύπνου υπάρχουν φορητές συσκευές που περιλαμβάνουν είτε μονούς είτε συνδυασμό αισθητήρων, στις οποίες η συνδυαστική αξιολόγηση των δεδομένων των αισθητήρων οδηγεί στη συνολική αποτίμηση των προτύπων

ύπνου. Οι αισθητήρες που ανιχνεύουν επιτάχυνση, τα επιταχυνσιόμετρα, είναι οι πιο δημοφιλείς αισθητήρες λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας χρήσης και των επί του παρόντος επικυρωμένων αλγορίθμων, προσαρμοσμένων στο επίπεδο επιτάχυνσης που μετράται από τη θέση του σώματος, για εξαγωγή βασικών παραμέτρων ύπνου (Zinkhan et al., 2014). Οι περισσότεροι από αυτούς τους αισθητήρες εφαρμόζονται στον καρπό χρησιμοποιώντας τη πιο δημοφιλή μέθοδο αξιολόγησης της ποιότητας του ύπνου που βασίζεται στη μέτρηση της επιτάχυνσης του σώματος λόγω της κίνησης μέσα σε ένα αδρανειακό πλαίσιο.

Ωστόσο, τα επιταχυνσιόμετρα καρπού αξιολογούν μονοδιάστατα την ποιότητα ύπνου. Για να βελτιωθεί η ακρίβεια της αξιολόγησης της περιόδου αφύπνισης/ύπνου, έχουν προταθεί διάφορα σχήματα επεξεργασίας σήματος (Sadeh, 2011). Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι επεξεργασίας σήματος εντοπίζουν κυρίως περιόδους ύπνου/αφύπνισης με βάση την αδρανειακή επιτάχυνση, επιτάχυνση λόγω κίνησης, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν πληροφορίες από τη στατική επιτάχυνση λόγω βαρύτητας. Έτσι, αυτές οι μέθοδοι παραμελούν πολύτιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τη θέση ύπνου και/ή τις αλλαγές μεταξύ των θέσεων ύπνου και πλήθος μελετών έχουν εστιάσει στο σημείο εφαρμογής των αισθητήρων για την πιο αξιόπιστη μέτρηση της επιτάχυνσης (Razjouyan et al., 2017). Ωστόσο, η αξιοπιστία των μονοδιάστατων επιταχυνσιομέτρων είναι περιορισμένη και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η ικανότητα τους εντοπισμού των προτύπων ύπνου/εγρήγορσης είναι σε εύρος λιγότερο από 50% (Sadeh, 2011), οδηγώντας συνήθως σε υπερεκτίμηση της διάρκειας του ύπνου, μειώνοντας έτσι την ικανότητα αναγνώρισης των ασθενών με διαταραχές ύπνου (Maglione et al., 2013).

Έτσι λοιπόν, οι ειδικοί και οι εταιρείες έχουν αναπτύξει μια νέα κατηγορία φορητών συσκευών που περιλαμβάνουν συνδυασμό αισθητήρων για την παρακολούθηση του ύπνου και τον προσδιορισμό της ποιότητάς του (Beach et al., 2019). Στη διεθνή βιβλιογραφία, έχουν δημοσιευτεί μελέτες που περιγράφεται η ανάπτυξη συσκευών που συνδυάζουν άλλοτε σε άλλο βαθμό τους αισθητήρες:

- αίσθησης, που χρησιμοποιούν δύο ηλεκτρόδια ηλεκτροοφθαλμογραφήματος για την ταξινόμηση του ύπνου.

- κίνησης των ματιών και των βλεφαρίδων
- Μέτρησης φυσιολογικών παραμέτρων για τη μέτρηση του καρδιακού ρυθμού και της αναπνοής
- Επιταχυνσιόμετρα
- Ήχου για την παρακολούθηση του αναπνευστικού ήχου.

1.4 Παρακολούθηση βιοχημικών και αιματολογικών παραμέτρων

Οι αισθητήρες με τους οποίους μπορεί να γίνει μέτρηση βιοχημικών και αιματολογικών παραμέτρων έχουν λάβει μεγάλη προσοχή από την επιστημονική κοινότητα λόγω της δυνατότητάς τους να παρακολουθούν ένα ευρύ φάσμα βιοδεικτών με συνεχή και μη επεμβατικό τρόπο (Bandodkar & Wang, 2014). Την τελευταία δεκαετία, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη φορητών ηλεκτροχημικών αισθητήρων που μπορούν να ανιχνεύουν βιοδείκτες σε διάφορα βιο-υγρά εκτός από το αίμα, όπως το σάλιο, ο ιδρώτας και το διάμεσο υγρό.

Η ακριβής πρόβλεψη της έναρξης και της επακόλουθης πορείας μιας νόσου παραμένει μια σημαντική πρόκληση για τους επαγγελματίες υγείας. Για αυτό τον λόγο ,έχουν αναζητηθεί διάφοροι βιοδείκτες για την αντιμετώπιση του προβλήματος πρόβλεψης ή παρακολούθησης μίας νόσου (Liu et al., 2014). Για τις περισσότερες ασθένειες, η εμφάνιση των συμπτωμάτων συνεπάγεται διάγνωση και θεραπευτικό πλάνο, επομένως σχετικά λίγα είναι γνωστά για τη μετάβαση από την υγιή στην κατάσταση της ασθένειας. Τα αναδυόμενα δεδομένα υποδεικνύουν ότι η ανίχνευση της νόσου στα πρώιμα, προ-συμπτωματικά στάδια μπορεί να οδηγήσει σε προληπτικές και θεραπευτικές παρεμβάσεις με σημαντικό θετικό κλινικό αντίκτυπο. Επομένως, η έγκαιρη ανίχνευση άλλων εξελισσόμενων γεγονότων, όπως οι τοξικότητες φαρμάκων, οι αναδυόμενες λοιμώξεις, οι θρόμβοι αίματος και πολλά άλλα, θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την έκβαση των ασθενών.

Οι αισθητήρες που έχουν έως τώρα αναπτυχθεί για τη μέτρηση βιοδεικτών στοχεύουν είτε στην προσυμπτωματική διάγνωση της νόσου, είτε στην παρακολούθηση χρόνιων νοσημάτων. Με τις ιατροτεχνολογικές εξελίξεις, έχουν αναπτυχθεί φορητές συσκευές που ενσωματώνουν μηχανικές λειτουργίες,

αισθητήρες, wireless συστήματα μεταφοράς δεδομένων και ηλεκτρονικές βάσεις αρχειοθέτησης δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη άμεσης ανίχνευσης εργαστηριακών δεικτών και παροχή καθοδήγησης, υπενθυμίσεις χορήγησης φαρμάκων κ.λπ.. Στόχος αυτών των συσκευών είναι η επίτευξη πολυπαραμετρικής, σε πραγματικό χρόνο, διαδικτυακής, ακριβούς και έξυπνης ανίχνευση και ανάλυσης πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διενέργεια αυτοδιάγνωσης και αυτοπαρακολούθησης (Guk et al., 2021).

Ο διαβήτης αποτελεί ένα νόσημα στο οποίο έχουν σημειωθεί σημαντικές εξελίξεις σε σχέση με την ανάπτυξη αισθητήρων και φορητών συσκευών για την μέτρηση της γλυκόζης. Ως νόσημα χαρακτηρίζεται από υπεργλυκαιμία που προκαλείται από διαταραχή στην έκκριση ινσουλίνης από το πάγκρεας (Flannick et al., 2016). Ο μακροχρόνιος ανεπαρκής γλυκαιμικός έλεγχος μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη, δυσλειτουργία και ανεπάρκεια διαφόρων οργάνων, ιδιαίτερα των ματιών, των νεφρών, των νεύρων, της καρδιάς και των αιμοφόρων αγγείων (ADA, 2013). Για τους ασθενείς με διαβήτη, η βελτίωση της ικανότητας αυτοελέγχου και αυτοδιαχείρισης των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα έχει συμβάλει στη μείωση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας που σχετίζεται με τον διαβήτη.

Οι συσκευές παρακολούθησης των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα κατέχουν σημαντική θέση στον έλεγχο των επιπέδων γλυκόζης των ασθενών, η οποία αποτελεί τον οδηγό για τη δημιουργία και προσαρμογή του θεραπευτικού πλάνου, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να αποτρέψει την εμφάνιση συμβάντων κινδύνου (Cosentino et al., 2020). Πλέον έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες και συστήματα δυναμικής παρακολούθησης των επιπέδων γλυκόζης που ο ασθενής μπορεί να καταγράψει την ημερήσια διακύμανση των επιπέδων γλυκόζης τα οποία αποτυπώνονται στην οθόνη ηλεκτρονικής συσκευής μέσω εφαρμογή (τηλέφωνο ή tablet) και μπορούν και ταυτόχρονα να επικοινωνήθουν με την ιατρονοσηλευτική ομάδα.

Ο αισθητήρας γλυκόζης ανιχνεύει τη συγκέντρωση της οξειδάσης της γλυκόζης στο διάμεσο υγρό (Hsieh et al., 2013). Ωστόσο, αντί η μέτρηση να γίνεται μέσω ηλεκτροχημικών μεθόδων, η συσκευή χρησιμοποιεί χωρητική ανίχνευση των αλλαγών στη διηλεκτρική σταθερά του υλικού. Το ένζυμο της οξειδάσης της

γλυκόζης μετατρέπει τη γλυκόζη και το οξυγόνο σε γλυκονολακτόνη και υπεροξειδίο του υδρογόνου. Το οξυγόνο προέρχεται από το νερό που περιβάλλει τον αισθητήρα. Όταν η γλυκόζη οξειδώνεται, η συγκέντρωση του νερού μειώνεται και η συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου αυξάνεται, με αποτέλεσμα μια αλλαγή στη διηλεκτρική σταθερά της περιοχής μεταξύ των ηλεκτροδίων του αισθητήρα, η οποία και αντανακλά τη μεταβολή εμμέσως της γλυκόζης.

Ο ιδρώτας χρησιμοποιείται ευρέως σε επιδερμικούς αισθητήρες δίνοντας τη δυνατότητα να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τη συνεχή παρακολούθηση βιοδεικτών λόγω των πολλαπλών θέσεων δειγματοληψίας, της συνεχούς συλλογής, της εύκολης και άνετης τοποθέτησης και την ευρεία γκάμα βιοδεικτών που μπορούν να ανιχνευθούν σε αυτόν (Yokus et al., 2020). Η παθητική συλλογή ιδρώτα με χρήση αντισώματος πολλαπλής σύλληψης, η τεχνολογία της μικροσυστοιχίας και η ενεργός επαγωγή ιδρώτα μέσω ιοντοφόρησης στην οποία έχει επικεντρωθεί ο τομέας της ιατροτεχνολογίας, στοχεύει στη βελτίωση της ανθεκτικότητας του αισθητήρα και την αύξηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων.

Επί του παρόντος, έχουν αναπτυχθεί φορητοί αισθητήρες ιδρώτα για την ανίχνευση της γλυκόζης σε ασθενείς με διαβήτη, του γαλακτικού οξέος για την αξιολόγηση της κόπωσης, της αύξησης της αρτηριακής πίεσης και του ανεπαρκούς οξειδωτικού μεταβολισμού, και της κορτιζόλης για την αξιολόγηση του άγχους. Οι αισθητήρες ενσωματώνουν τεχνολογία ανίχνευσης των δεικτών με wearables, τα οποία μπορούν να αξιολογήσουν βασικούς φυσιολογικούς δείκτες σε διάφορες καταστάσεις για την πληρέστερη αξιολόγηση της υποκείμενης παθολογικής κατάστασης (Khor et al., 2022).

Αισθητήρες που ανιχνεύουν βιοδείκτες στον ιδρώτα έχουν επίσης, χρησιμοποιηθεί στη διάγνωση αρκετών ασθενειών. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν έρευνες, οι οποίες έχουν μελετήσει την ανίχνευση πρωτεϊνών για τη πρώιμη διάγνωση της φυματίωσης (Adewole et al., 2016), τον προσδιορισμό ανασοσφαιρινών και κυτοκινών για την παρακολούθηση φλεγμονής (Katchman et al., 2018; Marques-Deak et al., 2006), την ανίχνευση μεταβολιτών για τη διάγνωση δερματικών παθήσεων (Nestle et al., 2009) και τη μέτρηση φαρμακολογικών ουσιών στον ιδρώτα στα πλαίσια διερεύνησης χρήσης ουσιών (Xiao et al., 2022). Φαίνεται

λοιπόν πως οι ερευνητές μπορούν να λάβουν πολλά σημαντικά δεδομένα από τον ιδρώτα αναφορικά με πλήθος παθολογικών καταστάσεων, δείχνοντας τις προοπτικές εφαρμογής των φορητών αισθητήρων ιδρώτα στον τομέα της υγείας, όπως η διάγνωση και η διαχείριση των νοσημάτων.

Κεφάλαιο 2. Λογισμικά μέτρησης δεικτών ανθρώπινου σώματος

Οι τεχνολογίες λογισμικών μέτρησης ανθρώπινων δεικτών, MMA, παρέχουν μια συνεχή αξιολόγηση του προς μελέτη δείκτη σε πραγματικό χρόνο και εξατομικευμένη προσέγγιση για την έγκαιρη ανίχνευση τόσο για τη διάγνωση όσο και για την παρακολούθηση της εξέλιξης αρκετών νοσημάτων. Οι MMA είναι πρακτικές φορητές συσκευές, εύκολες στη χρήση που παρέχουν οπτικοποιημένα τα δεδομένα σε μορφή γραφικών παραστάσεων. Μπορούν να εφαρμοστούν σε ενδονοσοκομειακές δομές αλλά απομακρυσμένα επιτρέποντας τη συνεχή, μη επεμβατική παρακολούθηση των ασθενών από το οικείο περιβάλλον τους. Τα MMA παρέχουν αντικειμενικές μετρήσεις δεδομένων πολλών φυσιολογικών παραμέτρων και ως εκ τούτου παρέχουν μια πλατφόρμα για ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο στον ασθενή και τον κλινικό ιατρό (Cox et al., 2020).

Η μοναδικότητα των MMA έγκειται στο γεγονός πως μπορούν να αντιμετωπίσουν την πρόκληση της παρακολούθησης των ασθενών ενσωματώνοντας τη σύγχρονη τεχνολογία, με ένα τρόπο μη επεμβατικό, με λιγότερο κόστος και σε πραγματικό χρόνο, αντιμετωπίζοντας τον ασθενή ως ένα εξατομικευμένο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα. Η πλειοψηφία των MMA παρέχουν μια πλατφόρμα από την οποία μπορούν να ενημερώνεται άμεσα η ιατρονοσηλευτική ομάδα για την αποτελεσματικότερη και αμεσότερη διαχείριση της νόσου. Οι ειδοποιήσεις και η δυνατότητα προσθήκης σχόλιων σε πραγματικό χρόνο από τον ασθενή μειώνουν το χρόνο αντίδρασης, καθώς τα δεδομένα που συλλέγονται και αναφέρονται από τους ασθενείς μπορεί συχνά να καθυστερούν σημαντικά να φτάσουν στην εξειδικευμένη ομάδα (Piwek et al., 2016).

Με τα τρέχοντα πλεονεκτήματα των φορητών τεχνολογιών, προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι τα MMA δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στην κλινική πρακτική συνήθως μόνο για την παρακολούθηση της φυσικής δραστηριότητας (Fisch et al., 2016). Για

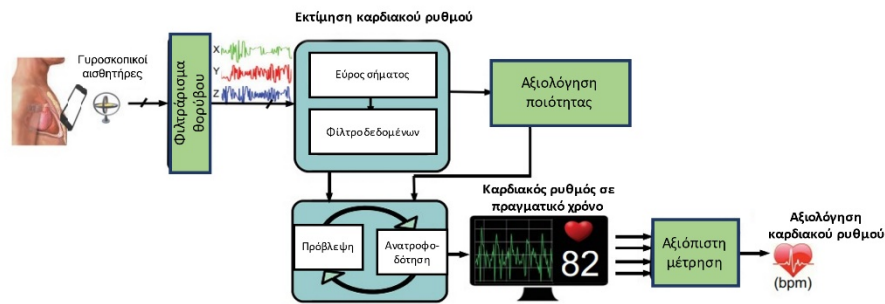
να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό των MMA προς όφελος των υπηρεσιών υγείας και κατ' επέκταση των ασθενών, οι ερευνητικές προσπάθειες πρέπει να επεκταθούν και προς άλλα νοσήματα και βιοδείκτες (Tyler et al., 2020). Επιπλέον, ο συνδυασμός φυσιολογικών δεδομένων με δεδομένα μοριακών βιοδεικτών που συλλέγονται πιο δυναμικά (π.χ. βιοδείκτες αίματος, προφίλ γονιδιακής έκφρασης) είναι σημαντική, προκειμένου να συσχετιστούν δεδομένα αισθητήρων με μηχανισμούς υποκείμενης νόσου.

Παρακάτω, θα αναλυθούν τα πιο αξιόπιστα MMA αξιολόγησης των συνηθέστερων δεικτών της ανθρώπινης λειτουργίας, με τη σειρά που ταξινομήθηκαν παραπάνω, κι έτσι όπως αξιολογήθηκαν από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.

2.1. Λογισμικά αιμοδυναμικής παρακολούθησης – Σύστημα

παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού HeartSense

Στη μελέτη των Reham & Moustafa, 2017 παρουσιάστηκε το σύστημα HeartSense για ακριβή και αξιόπιστη αξιολόγηση του καρδιακού παλμού χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες αδράνειας που υπάρχουν σε ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο (Smartphone). Το θεωρητικό πλαίσιο της εφαρμογής στηρίζεται στην μηχανική της καρδιάς και την ελικοειδή κίνηση που κάνει, πιστεύοντας ότι οι αισθητήρες κίνησης μπορούν να ανιχνεύσουν τις κινήσεις αυτές σε δύο άξονες. Η καινοτομία του HeartSense έγκειται στην εξέλιξη των αισθητήρων σε διάφορες στάσεις του σώματος και στην αφομοίωση των παρασίτων από ήχους. Το σύστημα περιέχει επίσης έναν ισχυρό εκτιμητή καρδιακού ρυθμού που φιλτράρει τις στιγμιαίες εκτιμήσεις για να δώσει μια ισχυρή μακροπρόθεσμη αξιολόγηση του καρδιακού παλμού. Αξιοποιώντας λοιπόν, τους τυπικούς αισθητήρες των smartphones, με τη δυνατότητα τη απλής εφαρμογής στο στήθος του ασθενούς, το HeartSense είναι κατάλληλο για την αξιολόγηση της καρδιακής λειτουργίας σε πολλές παθολογικές καταστάσεις. Στην Εικόνα 2 φαίνεται ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του συστήματος HeartSense.



Εικόνα 2. Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός HeartSense.

Το HeartSense ξεκινά όταν ο χρήστης σταθεροποιήσει το smartphone στο σημείο του θώρακα. Οι περιοδικοί καρδιακοί παλμοί ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα αδράνειας 3 αξόνων. Αυτά τα τρία σήματα τροφοδοτούνται στη μονάδα προ-επεξεργασίας που μειώνει τον θόρυβο στην εισαγωγή δεδομένων. Τα φιλτραρισμένα σήματα μεταβιβάζονται στη συνέχεια στη μονάδα εξαγωγής καρδιακού ρυθμού που υπολογίζει τον καρδιακό ρυθμό από κάθε άξονα ροής σήματος, καθώς υπολογίζει ταυτόχρονα μια μέτρηση ποιότητας που αντικατοπτρίζει τον βαθμό αξιοπιστίας σε κάθε καρδιακό χτύπο. Αυτές οι διαφορετικές εκτιμήσεις στη συνέχεια συγχωνεύονται χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο, λαμβάνοντας υπόψη την εκτιμώμενη μέτρηση της ποιότητας για κάθε σήμα. Η έξοδος της μονάδας εξαγωγής καρδιακού ρυθμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση του καρδιακού παλμού σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, αυτές οι στιγμιαίες εκτιμήσεις υποβάλλονται σε περαιτέρω μεταγενέστερη επεξεργασία από την αξιόπιστη μονάδα εκτίμησης καρδιακών παλμών για την αφαίρεση ακραίων τιμών, παρέχοντας μια αξιόπιστη εκτίμηση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κλινικό επίπεδο.

Το HeartSense χρησιμοποιεί κοινά smartphones για να παράγει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του έναντι άλλων συστημάτων αξιολόγησης καρδιακού ρυθμού είναι η δυνατότητα χρήσης του από

οποιονδήποτε χρήστη οπουδήποτε. Ο χρήστης δεν χρειάζεται να μεταβεί σε νοσοκομειακή δομή ή να επισκεφθεί πάροχο φροντίδας και να τοποθετήσει ειδικό αισθητήρα. Η μελέτη των συγγραφέων για να αξιολογήσουν τη χρήση του σε διαφορετικά σενάρια, αξιολόγησαν το HeartSense σε διαφορετικές ανθρώπινες στάσεις (καθιστή ή ύπτια) και σε διαφορετικούς προσανατολισμούς σώματος. Η μελέτη έδειξε πως η στάση του σώματος σε καθιστή θέση έχει μικρότερα σφάλματα τεταρτημορίου, καθώς η κίνηση της καρδιάς έχει ισχυρότερη επίδραση στο στήθος σε αυτή τη θέση. Ωστόσο, φάνηκε πως η απόδοση του HeartSense είναι ανθεκτική σε διαφορετικές ανθρώπινες στάσεις και σε διαφορετικούς προσανατολισμούς σώματος.

Η μελέτη της αποτελεσματικότητας του συστήματος έδειξε επίσης, πως το σύστημα αξιολογεί αξιόπιστα τις διάφορες τιμές των τιμές των καρδιακών παλμών και μπορεί να ανιχνεύσει τους διαφορετικούς καρδιακούς παλμούς αποτελεσματικά με διάμεσο σφάλμα 1,03 bpm. Καθώς αυξάνεται ο καρδιακός ρυθμός, η απόδοση του HeartSense γίνεται καλύτερη, όπου το ποσοστό του σφάλματος σε μικρότερο εύρος (65-75 bpm) είναι 3,4% ενώ σε υψηλότερες καρδιακές συχνότητες (85-95 bpm) είναι 0.76%. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη δύναμη της καρδιάς σε υψηλότερους καρδιακούς παλμούς, που οδηγεί σε καθαρότερο σήμα στους άξονες του αισθητήρα αδράνειας.

Τέλος, συγκρίνοντας την απόδοση του HeartSense με τα αντίστοιχα συστήματα που χρησιμοποιούν τους τυπικούς αισθητήρες τηλεφώνου, τα αποτελέσματα έδειξαν πως το HeartSense υπερτερεί σημαντικά τα συστήματα που βασίζονται σε επιταχυνσιόμετρα κατά περισσότερο από 385% σε διάμεσο σφάλμα. Πιο ενδιαφέρον, ήταν το εύρημα πως η σύντηξη του επιταχυνσιόμετρου οδηγεί σε χειρότερη απόδοση λόγω του υψηλού θορύβου του αισθητήρα του επιταχυνσιόμετρου που δημιουργεί σφάλμα μετρήσεων.

Ως συμπέρασμα, οι συγγραφείς υπογραμμίζουν πως το HeartSense είναι ένα ακριβές και αξιόπιστο σύστημα για την αξιολόγηση του καρδιακού ρυθμού, με την απλή χρήση των κοινών smartphones. Σε συνολικό αριθμό 836 πειράματων φάνηκε το υψηλό επίπεδο ευαισθησίας της μεθόδου με απόλυτο σφάλμα 1,03 bpm σε διαφορετικά πρακτικά σενάρια. Επομένως το HeartSense αποτελεί ένα αξιόπιστο

σύστημα αξιολόγησης της καρδιακής λειτουργίας, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση μεγάλου αριθμού παθολογικών καταστάσεων στο πλαίσιο της πρόληψης, αντιμετώπισης και διαχείρισης των νοσημάτων.

2.2 Λογισμικά κινητικών παραμέτρων – Σύστημα αξιολόγησης και αποκατάστασης βάδισης και ισορροπίας GamePad

Στη μελέτη των Carpinella et al. (2017) αναπτύχθηκε ένα νέο σύστημα βιοανάδρασης με την ονομασία Gamepad (GAMing Experience in PArkinson's Disease) για την αποκατάσταση της ισορροπίας και της βάδισης σε ασθενείς με νόσο Parkinson. Το σύστημα βασίζεται σε φορητούς αισθητήρες και παρέχει στα άτομα οπτικό και ακουστικό ερέθισμα σε πραγματικό χρόνο για τη διενέργεια διαφόρων κινητικών ασκήσεων προσομοιάζοντας τις καθημερινές δραστηριότητες και προσαρμοσμένες εξατομικευμένα στα άτομα με συγκεκριμένα ελλείμματα.

Η εφαρμογή θεραπευτικού πλάνου βασισμένη στο σύστημα Gamepad με την παροχή βιοανάδρασης φαίνεται πως ενισχύσει τα αποτελέσματα της αποκατάστασης της ισορροπίας και του βαδίσματος με την ενεργοποίηση των εξασθενημένων αισθητηριακών εισροών που είναι χαρακτηριστικές της νόσου Parkinson, αυξάνοντας την προσήλωση των ασθενών στις διαδικασίες της κίνησης, ενισχύοντας έτσι το κέντρο της κινητικής εκμάθησης στον εγκέφαλο και παρακάμπτοντας τα ελαττωματικά βασικά γάγγλια.

Το σύστημα Gamepad (**Εικόνα 3**) αποτελείται από έξι φορητούς αισθητήρες αδράνειας και ένα Ηλεκτρονικό Υπολογιστή με την εφαρμογή του λογισμικού, που αναπτύχθηκε με χρήση της τεχνολογίας NET σε Matlab/Simulink περιβάλλον, για την απόκτηση και την επεξεργασία και ανατροφοδότηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Κάθε μονάδα αδράνειας περιέχει τρισδιάστατα επιταχυνσιόμετρα, τρισδιάστατους αισθητήρες αδράνειας, ένα τρισδιάστατο μαγνητόμετρο και έναν αισθητήρα υπολογισμού του προσανατολισμού στο διάστημα (γωνίες Euler). Οι αισθητήρες σταθεροποιούνται στον άνω και κάτω κορμό και στα κάτω άκρα μέσω ελαστικών ζωνών (**Εικόνα 3Α**). Τα σήματα μεταδίδονται στον υπολογιστή ασύρματα μέσω Bluetooth με συχνότητα αποστολής σημάτων τα 50 Hz.

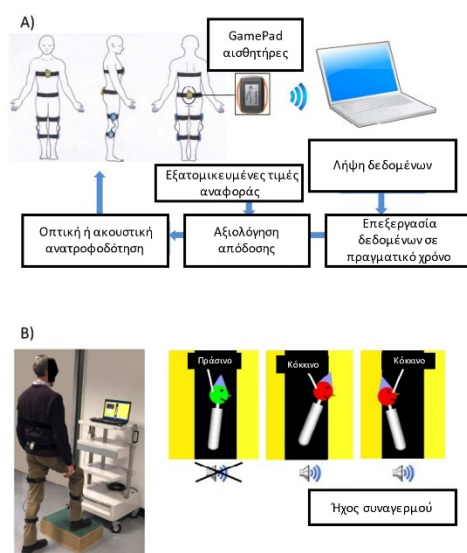
Το λογισμικό Gamepad επιτρέπει στον ασθενή να κάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Επιλογή της άσκησης από ένα μενού που περιέχει ένα σύνολο εργασιών, που ορίζονται από την διεπιστημονική ομάδα σύμφωνα με το εξατομικευμένο θεραπευτικό πλάνο του ασθενούς. Οι ασκήσεις ακολουθούν μια λειτουργική προσέγγιση εστιασμένες στον έλεγχο της μετατόπισης βάρους και της στάσης του σώματος σε προσθιο-οπίσθιες (ΠΟ) και μεσοπλάγιες (ΜΠ) κατευθύνσεις κατά τη διάρκεια της στατικής αδράνειας (π.χ. όρθια καθιστή και όρθια στάση), επικείμενης δυναμικής αδράνειας (π.χ. καθιστή στάση και έναρξη βάρδισης) και δυναμικές εργασίες (π.χ. ανέβασμα σε ένα σκαλοπάτι, περπάτημα σε ευθεία γραμμή με διαφορετικές ταχύτητες, περπάτημα με στροφές και πάνω από εμπόδια).

- Επιλογή της μεταβλητής κίνησης που θα ελεγχθεί κατά τη διάρκεια της άσκησης. Το Gamepad επιτρέπει τον έλεγχο των γωνιακών μετατοπίσεων κορμού ΠΟ/ΜΠ, κινήσεις κέντρου μάζας σώματος ΠΟ/ΜΠ, γωνία κάμψης γόνατος και συνδυασμός δύο μεταβλητών (π.χ. κλίση ΜΠ κορμού και μετατόπιση κέντρου μάζας σώματος). Η κλίση του κορμού και οι γωνίες κάμψης του γόνατος υπολογίζονται με τις γωνίες Euler που παρέχονται απευθείας από τους αισθητήρες, Για τον υπολογισμό των μετατοπίσεων του κέντρου μάζας σώματος σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιείται ειδικός αλγόριθμος με βάση τον προσανατολισμό των αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι στο κάτω μέρος του κορμού, των μηρών και των κορμών προσαρμοσμένα στην ανθρωπομετρία κάθε ασθενούς.

- Βαθμονόμηση της άσκησης. Το Gamepad επιτρέπει στους επαγγελματίες υγείας να εκτελέσουν ένα συγκεκριμένο σύστημα βαθμονόμησης της άσκησης ορίζοντας τις τιμές αναφοράς για τη σωστή εκτέλεση εργασιών και λαμβάνοντας ανατροφοδότηση από την εκτέλεση των ασκήσεων. Ως διαδικασία, κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, ζητάται από τον ασθενή να εκτελέσει την επιλεγμένη άσκηση ακολουθώντας τις οδηγίες του ειδικού. Στη βέλτιστη απόδοση του ασθενούς στην εκτέλεση των ασκήσεων μεταξύ των προσπαθειών, αποθηκεύονται τα δεδομένα κίνησης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των τιμών αναφοράς στις επόμενες συνεδρίες βιοανάδρασης.

- Έναρξη της άσκησης. Ο θεραπευτής μπορεί να ξεκινήσει τη συνεδρία βιοανάδρασης και ο ασθενής εκτελεί τις ασκήσεις με λήψη διαδικτυακής οπτικής ανατροφοδότησης (κινούμενο avatar που εμφανίζεται στην οθόνη) ή/και ακουστική ανατροφοδότηση (ήχοι) για την κίνησή του. Κατά τη διάρκεια των ασκήσεων βάρδισης, παρέχεται ακουστική ανατροφοδότηση σχετικά με την κλίση του άνω κορμού και τη γωνιακή μετατόπιση ΜΠ του κάτω κορμού. Στο τέλος κάθε άσκησης προκύπτει μία θετική ή αρνητική βιοανάδραση ανάλογα με το πως εκτελέστηκε η άσκηση, η οποία βαθμολογείται από 0 έως 10, παρέχοντας αυτόματα στον ασθενή ένα αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης (**Εικόνα 3B**).



Εικόνα 3. 3A. Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός GamePad. 3B. Σύστημα βιοανάδρασης κατά την εκτέλεση των ασκήσεων.

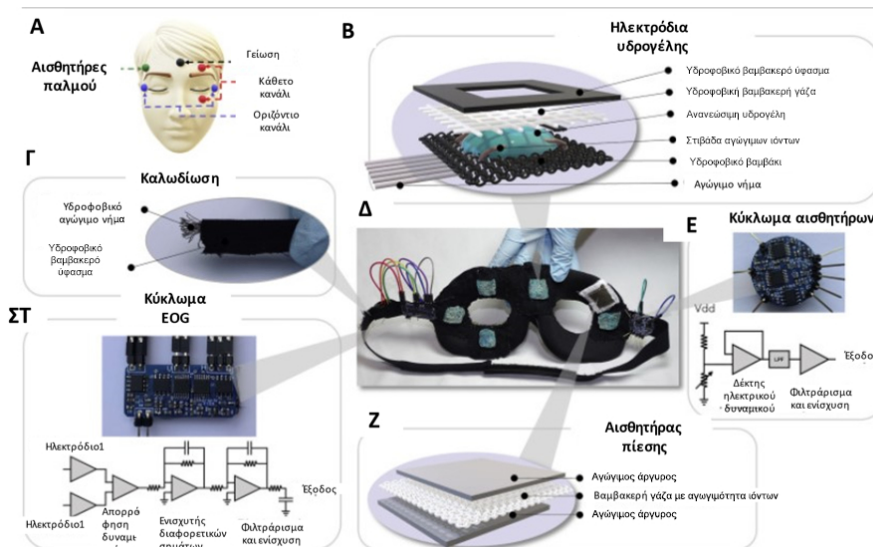
Στην κλινική μελέτη που διεξήγαγαν οι ερευνητές για να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητά του συστήματος εφαρμόστηκε πρόγραμμα αποκατάστασης με τη βιοανάδραση που παρέχει το Gamepad σε σύγκριση με απλό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας. Οι συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων έδειξαν στατιστικά σημαντικές υψηλότερες βαθμολογίες στην αξιολόγηση της ισορροπίας στην ομάδα παρέμβασης, υπογραμμίζοντας τον θετικό αντίκτυπο του Gamepad στην αποκατάσταση της ισορροπίας σε ασθενείς με νόσο Parkinson. Ειδικότερα, το πλάτος της ταλάντωσης του κέντρου μάζας σώματος ΜΠ ήταν χαμηλότερο στην ομάδα παρέμβασης, αποτέλεσμα υπέρ της αποκατάστασης της ισορροπίας και της

ποιότητας βάδισης. Το πλάτος της μεσοπλευρικής ταλάντωσης είναι η καλύτερη σταθερομετρική παράμετρος που προβλέπει μελλοντικές πτώσεις. Οι συγγραφείς τονίζουν τη σημασία της συμβολής της βιοανάδρασης στην ενίσχυση της κινητικής μάθησης, κάτι που είναι εφικτό στους ασθενείς με Parkinson, παρότι ο μηχανισμός είναι εξασθενημένος. Ειδικότερα, η παροχή πρόσθετων αισθητηριακών πληροφοριών μπορεί να βοηθήσει τους ασθενείς όχι μόνο κατά το πρώτο γνωστικό στάδιο μάθησης, εστιάζοντας την προσοχή τους προς την άσκηση, αλλά και κατά το στάδιο της αυτοματοποίησης.

Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα πως το Gamepad είναι αξιόπιστο και αποτελεσματικό για κλινική χρήση σε άτομα με νόσο Parkinson, καθώς φαίνεται πως μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ισορροπία και τη βάδιση μέσω του συστήματος βιοανάδρασης που παρέχει. Ως επόμενο βήμα της ερευνητικής ομάδας είναι η ανάπτυξη ενός απλοποιημένου, πλήρως φορητού συστήματος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ασθενείς σε αυτονομία και εκτός νοσοκομείου εντός του οικείου τους περιβάλλοντος, για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας ζωής τους.

2.3 Λογισμικά παρακολούθησης ύπνου – Σύστημα παρακολούθησης Chesma

Στη μελέτη τους οι Zohreh et al. (2020) ανέπτυξαν ειδικά γυαλιά παρακολούθησης ύπνου με ενσωματωμένα υφασμάτινα βιοδυναμικά ηλεκτρόδια και ανιχνευτές παλμών για τη μακροπρόθεσμη ταυτόχρονη μέτρηση των κινήσεων των ματιών και του καρδιακού ρυθμού σε μία επαναχρησιμοποιήσιμη συσκευή (**Εικόνα 4**).



Εικόνα 4. Σύστημα Chesma. (Α) Σημεία λήψης δεδομένων στο πρόσωπο και τοποθέτησης των ηλεκτροδίων. (Β) Σχηματική απεικόνιση του ηλεκτροδίου από άργυρο που χρησιμοποιείται για EOG. (Γ) Καλωδίωση Chesma κατασκευασμένη με υδροφικά αγωγιμα νήματα. (Δ) Σύστημα Chesma με ενσωματωμένα ηλεκτρόδια, ανιχνευτή παλμών, μικροελεγκτή και καλωδίωση. (Ε) Ελεγκτής EOG και το αντίστοιχο μοντέλο κυκλώματος. (ΣΤ) Αισθητήρα πίεσης/ελεγκτής λήψης παλμών και το αντίστοιχο μοντέλο κυκλώματος. (Ζ) Σχηματική απεικόνιση του αισθητήρα πίεσης Press-ION για τη λήψη κυματομορφής του καρδιακού παλμού.

Στόχος τους ήταν να σχεδιάσουν ένα φορητό βιοηλεκτρόδιο συνδυάζοντας την άνεση και την επαναχρησιμοποίηση του υφάσματος με αισθητήρες υψηλού δείκτη σήματος/θορύβου και χαμηλού επιπέδου παράσιτα από το μέσο ενυδάτωσης (τζελ) των ηλεκτροδίων. Το σύστημα αποτελείται από μία αγωγιμη πλάκα, που είναι συλλέκτης φορτίου, με μια ιοντική διεπαφή που μπορεί να ισορροπήσει αποτελεσματικά τα ιοντικά φορτία στο σώμα και τα ηλεκτρόνια που ρέουν στα καλώδια. Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από μια ορθογώνια σειρά από ασημένια (Ag) νήματα (tAgs) με ειδική αντίσταση βάσης ($2 \Omega/\text{cm}$), με προσαρμοσμένη στην κορυφή τους ένα υδρόφοβο, πολυακρυλικό ύφασμα. Το σύστημα χρησιμοποιεί εγχυόμενο με άλας υδρογέλη για τα ηλεκτρόδια, η οποία απαιτείται για τη μετάφραση βιολογικών σημάτων που βασίζονται σε ιόντα σε ηλεκτρικό ρεύμα, τη μείωση των παρασίτων σημάτων και την ελαχιστοποίηση του θορύβου από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Προκειμένου η υδρογέλη να παραμένει σταθερή εφαρμόστηκε μια διαδικασία φάσης ατμού που ονομάζεται χημική εναπόθεση ατμού (Chemical Vapor Deposition, iCVD), με αποτέλεσμα να καταφέρουν να ενσωματώσουν στο σύστημα Chesma μια επαναχρησιμοποιήσιμη σύνθετη

υδρογέλη από πολύ-2-υδροξυαιθυλακρυλικό (ρHEA) και να εμφυτεύσουν αυτή τη σύνθετη υδρογέλη στο υποκείμενο ύφασμα των ειδικών γυαλιών. Όταν ενυδατώνεται αυτή η σύνθετη υδρογέλη, συμπεριφέρεται μηχανικά όπως οι αφροί που χρησιμοποιούνται στα κοινά ηλεκτρόδια και είναι αρκετά ώστε να ελαχιστοποιούνται τα παράσιτα κίνησης. Στην ολοκλήρωση του συστήματος Chesma, χρησιμοποιήθηκε ειδικό ύφασμα ανοιχτής ύφανσης το οποίο προστατεύει τη σύνθετη υδρογέλη από μηχανική τριβή κατά τη φθορά, ενώ επιτρέπει επίσης την επανυδάτωση της γέλης και την άμεση επαφή μεταξύ της υδρογέλης και του δέρματος του χρήστη μέσω των ευρέων πόρων της. Για να αποτραπεί η απορρόφηση νερού/ιδρώτα από το ύφασμα του πλαισίου και της υποστήριξης, αντί της υδρογέλης, όλα τα υφάσματα που χρησιμοποιούνται στο Chesma είναι υδρόφοβα χρησιμοποιώντας iCVD. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η κυτταροτοξικότητα τόσο του σύνθετου ηλεκτρολύτη υδρογέλης, όσο και του ειδικού υφάσματος είναι μηδενικής ευαισθησίας, σύμφωνα με τη μελέτη κυτταροτοξικότητας που διενήργησαν οι συγγραφείς.

Το σύστημα Chesma συνδυάζει την ταυτόχρονη αξιολόγηση πολλαπλών σημάτων φυσιολογικών παραμέτρων σε μία μόνο συσκευή. Περιλαμβάνει αισθητήρες που ανιχνεύουν την πίεση από τους παλμούς του αίματος στις αρτηρίες ως συμπλήρωμα στην αξιολόγηση των κινήσεων των ματιών. Με ειδικούς αισθητήρες επίσης αδράνειας και προσανατολισμού, το σύστημα παρέχει δεδομένα για τη στάση σώματος κατά τη διάρκεια του ύπνου, τον καρδιακό παλμό και την αναπνοή. Οι αισθητήρες αυτοί είναι ενσωματωμένοι σε ένα ειδικό επίθεμα του συστήματος, το Press-ION.

Η διτροπική μάσκα ματιών Chesma ενσωματώνει τέσσερα ειδικά ηλεκτρόδια σε τέσσερις περικογχικές θέσεις κατά μήκος της δεξιάς και αριστερής κόγχης του ματιού, ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς που βρίσκεται στο επάνω κέντρο της μάσκας ματιών, στη μετωπιαία χώρα και έναν ανιχνευτή παλμών Press-ION στην υπερκόγχιο θέση της αρτηρίας. Και τα έξι από αυτά τα ηλεκτρόδια υφάσματος είναι σφιχτά ραμμένα στο ειδικό ύφασμα που περιγράφηκε παραπάνω, σε σχήμα μάσκας ύπνου από αφρό, που επιλέγεται επειδή είναι ελαφριά και δεν προκαλεί δυσαρέσκεια στον ασθενή, ενώ παρέχεται σε μια μεγάλη ποικιλία σχημάτων και

μεγεθών κεφαλής για την εξατομικευμένη βέλτιστη εφαρμογή. Η Ηλεκτροοφθαλμογραφία (Electrooculography, EOG) του συστήματος περιέχει μια πλακέτα που ενισχύει τη μεγέθυνση του σήματος EOG, έτσι ώστε τα σήματα χαμηλής ισχύος να μπορούν να ανιχνευθούν και να αξιολογηθούν. Η πλακέτα έχει δύο κανάλια για κάθετα και οριζόντια σήματα. Η αντιστοιχία σύνθετης αντίστασης μεταξύ των πέντε ηλεκτροδίων του EOG, η πίεση στην επιφάνεια του δέρματος και η αλλαγή της αγωγιμότητας του δέρματος κατά τη χρήση διαφέρουν από τα υπόλοιπα διαθέσιμα συστήματα για τη βέλτιστη απορρόφηση των σημάτων και την εξάλειψη των ηχητικών παρασίτων. Το επίθεμα Press-ION έχει επίσης ενισχυθεί από την αρχική έκδοση ενισχύοντας έτσι τα προσλαμβανόμενα σήματα στην περιοχή συχνότητας 2–10 Hz, η οποία καλύπτει τα ισχυρότερα στοιχεία των παλμών του καρδιακού παλμού. Αυτή η πλακέτα συνδέεται με τον αισθητήρα Press-ION και ενίσχυει το σήμα έως και 400 φορές για να καταγράψει μικροσκοπικές αλλαγές της πίεσης λόγω του καρδιακού παλμού.

Αναφορικά με τη συλλογή, αποθήκευση και οπτικοποίηση των δεδομένων, το σύστημα περιλαμβάνει το ολοκληρωμένο κύκλωμα BL652 που περιέχει μικροελεγκτή και ραδιόφωνο χαμηλής ενέργειας Bluetooth. Με αυτό το κύκλωμα το συνολικό σύστημα έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που περιλαμβάνεται στο σύστημα Chesma, και έχει εφαρμοστεί το λογισμικό, χρησιμοποιείται για την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων για τη διάγνωση ή την παρακολούθηση των διαταραχών ύπνου.

Προκειμένου οι συγγραφείς να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος Chesma πραγματοποιήθηκε πειραματική μελέτη αξιολόγηση των παραμέτρων του συστήματος με την προγραμματισμένη τυποποιημένη πραγματοποίηση κινήσεων του ματιού και αξιολόγησης των ευρημάτων. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το σύστημα Chesma αποτελεί ένα ολοκληρωμένο φορητό σύστημα για την ασύρματη παρακολούθηση του ύπνου αξιολογώντας ταυτόχρονα τις κινήσεις των ματιών και τον καρδιακό ρυθμό για παρατεταμένες περιόδους, σε ένα μοναδικό σχέδιο υγρού ηλεκτροδίου ενσωματωμένο σε υφασμάτινη μάσκα. Το ηλεκτρόδιο με βάση το νήμα από άργυρο ξεπερνά επιτυχώς όλα τα μειονεκτήματα των εμπορικών κοινών ηλεκτροδίων, όπως

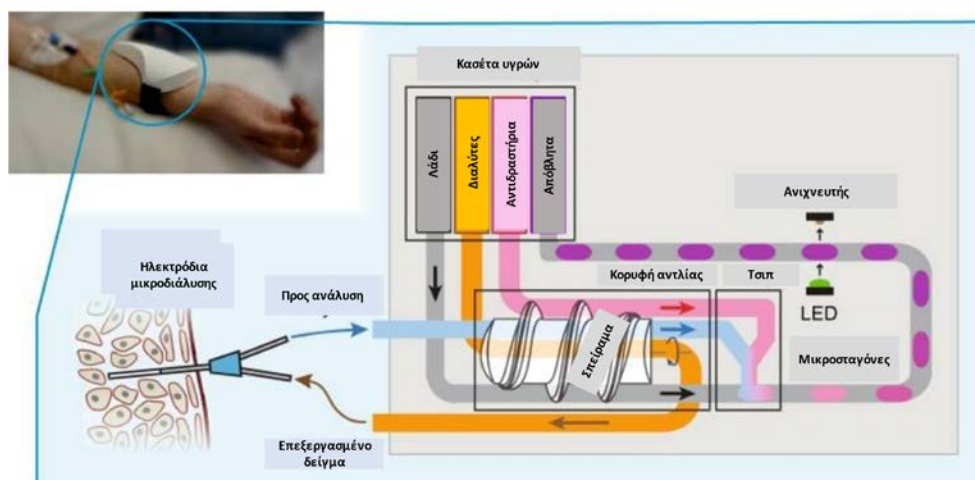
τα αισθητικά προβλήματα, τη δυσφορία και τη σταθερότητα, ενώ διατηρεί υψηλά και σταθερά SNR κατά τις επαναλαμβανόμενες, διαμήκεις εφαρμογές. Οι συγγραφείς αναμένουν πως η ανάπτυξη του καινοτόμου συστήματος Chesma θα επιτρέψει μια σειρά από βιοϊατρικές, ψυχολογικές και ψυχοκοινωνικές μελέτες με την εφαρμογή του συστήματος προς όφελος των ασθενών με διαταραχές ύπνου από την αξιόπιστη αξιολόγηση και παρακολούθηση του ύπνου.

2.4 Λογισμικά ανίχνευσης βιολογικών βιοδεικτών – Σύστημα μέτρησης πολλαπλών βιοδεικτών στο ενδιάμεσο υγρό

Στη μελέτη των Nightingale et al. (2019) παρουσιάστηκε ένα πλήρως ενσωματωμένο φορητό σύστημα αισθητήρων, το οποίο όχι μόνο παρέχει ακριβή, αξιόπιστη και ισχυρή δειγματοληψία και έλεγχο βιοχημικών βιοδεικτών, αλλά ταυτόχρονα παρέχει χημική ανάλυση χρησιμοποιώντας σταγονίδια ως μικροαντιδραστήρες. Το σύστημα αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις της παρακολούθησης πάρα τη κλίνη (point of care testing, POCT) παρέχοντας ακριβείς συνεχείς μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο με υψηλή χρονική ανάλυση με μια μικρή φορητή συσκευασία σημαντικών βιοδεικτών στην κλινική πράξη.

Το σύστημα συνδυάζει μια μικρή σε μέγεθος περισταλτική αντλία, ένα μικρορευστοποιητικό τσιπ, μία κυψέλη οπτικής ροής, και μια κασέτα δεξαμενής υγρού—όλα ενσωματωμένα σε ένα μικρό φορητό σύστημα. Χρησιμοποιεί ένα πρότυπο ροής σταγονιδίων που παρέχει βέλτιστη χρονική απόκριση σε συστήματα μικρορευστικής ανάλυσης. Η αρχιτεκτονική ρευστότητας μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με την αναλυόμενη κάθε φορά ουσία και τις απαιτήσεις της δοκιμασίας της. Ο αισθητήρας συνδέεται με έναν ανιχνευτή μικροδιάλυσης, αποτελούμενος από ομόκεντρα διατεταγμένους σωλήνες εισόδου και εξόδου που συνδέονται με μια διαπερατή μεμβράνη στο άκρο του ανιχνευτή, επιτρέποντας τη δειγματοληψία του ενδιάμεσου υγρού με τη βοήθεια αποστειρωμένου διαλύματος διάχυσης. Τα μόρια μπορούν ελεύθερα να διαχέονται από το διάμεσο υγρό στο έγχυμα στο άκρο του ανιχνευτή, αποδίδοντας ένα καθαρό προϊόν διάλυσης που είναι άμεσα αντιπροσωπευτικό της χημικής σύνθεσης του ενδιάμεσου υγρού. Το προϊόν αυτό

έλκεται στον αισθητήρα, μέσω της αντλίας και στη συνέχεια σε ένα μικρορευστικό τσιπ συναντά ένα ειδικό για τον ελεγχόμενο βιοδείκτη αντιδραστήριο. Μέσα σε κάθε σταγονίδιο το προϊόν διάλυσης αναμιγνύεται και αντιδρά με το αντιδραστήριο για να δημιουργήσει ένα έγχρωμο προϊόν. Η συγκέντρωση της αναλυόμενης ουσίας-στόχου καθορίζει την ισχύ του χρώματος της σταγόνας, η οποία ποσοτικοποιείται από μια ενσωματωμένη κυψέλη οπτικής ροής. Τα δεδομένα από την κυψέλη ροής διαβιβάζονται σε έναν ενσωματωμένο μικροελεγκτή, ο οποίος τα αναμεταδίδει σε μια εξωτερική συσκευή επεξεργασίας δεδομένων χρησιμοποιώντας έναν ενσωματωμένο πομπό Bluetooth και επίσης τα αποθηκεύει σε μια κάρτα SD. Για την πορεία του ρευστού κατά μήκος της σωλήνωσης του συστήματος χρησιμοποιείται ένα σπείρωμα το οποίο επιτρέπει αργούς ρυθμούς ροής σε μια δεδομένη ταχύτητα, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τη μεγιστοποίηση του χρόνου διάχυσης στη μεμβράνη του ανιχνευτή και την αξιόπιστη μέτρησή τους (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός συστήματος μέτρησης πολλαπλών βιοχημικών βιοδεικτών.

Η αντλία είναι το κλειδί για την ισχυρή παραγωγή σταγονιδίων των αντιδραστηρίων, η οποία χρησιμοποιεί την παλμική ροή της περισταλτικής μικροαντλίας για να παραχθούν κατάλληλα σταγονίδια ομοιόμορφου όγκου και αναλογίας δείγματος προς αντιδραστήριο εξασφαλίζοντας αναπαραγωγίμη ανάμειξη, στοιχειομετρία αντίδρασης και χρόνο παραμονής. Το τσιπ της μικροροής της αντλίας τοποθετήθηκε απευθείας στην αντλία για να ελαχιστοποιηθεί η

διασπορά του δείγματος πριν από τη δημιουργία σταγονιδίων και για να μειωθεί ο χρόνος σταθεροποίησης της ροής.

Προκειμένου οι ερευνητές να αξιολογήσουν την αξιοπιστία του συστήματος, διενήργησαν πειραματική μελέτη αρχικά στη μέτρηση της γλυκόζης στο ενδιάμεσο υγρό. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε πέντε υγιείς εθελοντές που υποβλήθηκαν σε δοκιμασία ανοχής γλυκόζης από το στόμα. Τα επίπεδα γλυκόζης παρακολουθούνταν συνεχώς για περίπου 60 λεπτά για να καθοριστεί το επίπεδο γλυκόζης αναφοράς (baseline) για κάθε ασθενή. Στη συνέχεια χορηγήθηκαν από το στόμα 50 g γλυκόζης σε ~100 ml νερού και τα επίπεδα γλυκόζης παρακολουθήθηκαν για τις επόμενες τρεις ώρες. Ταυτόχρονα έγινε δειγματοληψία από περιφερικό αίμα των εθελοντών για τον προσδιορισμό της γλυκόζης με την τυπική μικροδιάλυση και χειροκίνητη ανάλυση. Τα αποτελέσματα του αισθητήρα όσο και της τυπικής μικροδιάλυσης είχαν σημαντική συμφωνία τόσο στις απόλυτες τιμές όσο και στη διακύμανση με την πάροδο του χρόνου. Οι ερευνητές έλεγξαν την αξιοπιστία του συστήματος και για τη μέτρηση του γαλακτικού οξέος διεξάγοντας παρόμοια πειραματική μελέτη προκαλώντας στρες λόγω ισχαιμίας στο άνω άκρο, για την αύξηση του γαλακτικού οξέος. Η επίδραση της αγγειακής απόφραξης ήταν εμφανής τόσο στα δείγματα αίματος των ασθενών όσο και με τις αντίστοιχες μετρήσεις από τον αισθητήρα, με τα αποτελέσματα να συμφωνούν σημαντικά μεταξύ των δύο μεθόδων.

Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα πως στη μελέτη τους αναπτύχθηκε επιτυχώς ένα σύστημα που μπορεί να προσφέρει μία ποικιλία αναλύσεων για την ανίχνευση διαφορετικών βιοδεικτών, με τη χρήση μίας μικροαντλίας που μπορεί να προσφέρει σε μικροσταγονίδια διαφορετικά αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό των βιοδεικτών στο ενδιάμεσο υγρό. Το μικρό μέγεθος και η αυτόνομη λειτουργία του αισθητήρα τον καθιστούν εξαιρετικά πρακτικό. Κατά τη διάρκεια δοκιμών in vivo, οι μετρήσεις αίματος εκτός σύνδεσης και οι τυπικές μετρήσεις μικροδιάλυσης που χρησιμοποιούνται για τη συγκριτική αξιολόγηση της συσκευής έδειξαν στατιστικά σημαντική συμφωνία, υπογραμμίζοντας την αξιοπιστία της συσκευής. Η πλήρη ανεξαρτησία και αυτονομία των ασθενών στη χρήση του συστήματος αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα που αξίζει να σημειωθεί. Συμπερασματικά, η

εν λόγω συσκευή είναι ευρέως εφαρμόσιμη σε οποιοδήποτε κλινικό σενάριο όπου πρέπει να πραγματοποιείται διαρκής βιοχημικός έλεγχος σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τη συσκευή ελκυστική για εφαρμογή στο κλινικό πεδίο και την εφαρμογή της σε τμήματα αυξημένων αναγκών, όπως η εντατική θεραπεία, οι μονάδες τραύματος, και τα τμήματα επειγόντων περιστατικών. Στα τμήματα αυτά είναι επιθυμητή η ακριβής και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση βασικών βιοδεικτών για την ελαχιστοποίηση του χρόνου λήψης αποφάσεων και την ταχεία απόκριση στις επείγουσες καταστάσεις και την αντιμετώπιση βαρέως πασχόντων ασθενών. Ο μικρός, φορητός χαρακτήρας του αισθητήρα είναι επωφελής σε μονάδες εντατικής θεραπείας, ενώ υποστηρίζεται πως η συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση in vivo συγκεντρώσεων θεραπευτικών φαρμάκων ή τον χαρακτηρισμό της φαρμακοκινητικής νέων φαρμάκων. Ωστόσο, μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα πεδία πλέον του κλινικού, με την εφαρμογή του στο χώρο του αθλητισμού για την συνεχή παρακολούθηση θεμελιωδών φυσιολογικών διεργασιών στο σώμα. Σε συνδυασμό με άλλες συσκευές παρακολούθησης φυσιολογικών λειτουργιών, όπως ηλεκτροκαρδιογραφήματα, επιταχυνσιόμετρα ή προηγμένη απεικόνιση, το σύστημα αυτό αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο για την ανάπτυξη ακριβείας και εξατομικευμένης ιατρικής και υγειονομικής περίθαλψης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης ήταν να εντοπίσει στη διεθνή βιβλιογραφία και τις διεθνείς βάσεις δεδομένων Pubmed και Scopus, τεκμηριωμένα λογισμικά MMA και WSN και να αξιολογήσει ποιες παραμέτρους μπορούν να αξιολογήσουν αξιόπιστα και σε ποιες καταστάσεις υγείας απευθύνονται, εστιάζοντας σε λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί για τον ενήλικο πληθυσμό.

Από την ανασκόπηση μας προέκυψε ότι υπάρχουν πέντε κύρια χαρακτηριστικά των φορητών συσκευών που είναι απαραίτητα για την εύκολη, αποτελεσματική και αξιόπιστη εφαρμογή τους στον κλινικό χώρο: (1) η ασύρματη λειτουργία με δυνατότητα μετάδοσης των δεδομένων στην εκάστοτε διεπιστημονική ομάδα, (2) η διαδραστικότητα με τον ασθενή, (3) η βιωσιμότητα και η ανθεκτικότητα των υλικών για χρήση εκτός νοσοκομειακού χώρου, (4) η απλή λειτουργία για χρήση από τον ασθενή και (5) η εύχρηστη μη επεμβατική φορητή εφαρμογή του. Η εφαρμογή φορητών συσκευών στον τομέα της ιατρικής στοχεύει στην προληπτική, προγνωστική, εξατομικευμένη και συμμετοχική ιατρονοσηλευτική φροντίδα. Οι φορητές τεχνολογίες αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αντικειμενική και αξιόπιστη αξιολόγηση σημαντικών βιοδεικτών, επιτρέποντας τη μέτρηση κλινικά σχετικών παραμέτρων που μπορούν να αποτυπώσουν την κατάσταση της υγείας των ατόμων. Επιπλέον, οι ειδικοί πιστεύουν πως τα φορητά MMA παίζουν σημαντικό ρόλο ως τεχνολογία ενεργοποίησης και ως βασικός μοχλός που διευκολύνει την ολοκληρωμένη, ισότιμη και εξατομικευμένη παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Η λειτουργία και η εφαρμογή αυτών των συσκευών εξαρτάται από την εφαρμογή διαφόρων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας αισθητήρων, της τεχνολογίας ιατρικών τσιπ, της τεχνολογίας ασύρματων επικοινωνιών, της τεχνολογίας διαχείρισης ενέργειας, της τεχνολογίας οθόνης και της τεχνολογίας ανατροφοδότησης των πληροφοριών.

Επιπλέον, η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε πολυτροπικά συστήματα, στα οποία η αξιοποίηση πολλαπλών βιοδεικτών ταυτόχρονα αυξάνει το όφελος από την εφαρμογή τους. Τα MMA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση μεγάλου αριθμού νοσημάτων, οξέων και χρονίων. Δείξαμε τη δυνατότητα εφαρμογής τους για την παρακολούθηση αιμοδυναμικών παραμέτρων, κινητικών

παραμέτρων, του ύπνου αλλά και βιοχημικού ελέγχου βιοδεικτών. Για παράδειγμα, οι βιοχημικοί βιοδείκτες όπως τα ιόντα, οι μεταβολίτες και οι νευροδιαβιβαστές είναι πιθανό να προσφέρουν εις βάθος γνώσεις και ακριβείς εκτιμήσεις για την ανθρώπινη κατάσταση, ενώ η αξιολόγηση των φυσικών βιοδεικτών, όπως τα ο καρδιακός ρυθμός προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τον ασθενή.

Η ανάπτυξη των MMA αυξάνει την ποιότητα της παροχής φροντίδας και μετριάζει την έλλειψη πόρων σε χώρες χαμηλού εισοδήματος, προσφέροντας χαμηλού κόστους συστήματα που η εφαρμογή τους έχει δείξει καλύτερη πρόγνωση για τους ασθενείς, με μειωμένο αριθμό επανεισαγωγών, καλύτερη έκβαση και μικρότερο χρόνο νοσηλείας κι συνεπακόλουθα μείωση του κόστους υγείας. Ωστόσο, η βιομηχανία MMA βρίσκεται ακόμη σε ανάπτυξη και επί του παρόντος αντιμετωπίζει αρκετούς σημαντικούς περιορισμούς που εμποδίζουν την περαιτέρω χρήση της τεχνολογίας φορητών συσκευών στην ιατρική πρακτική. Ενώ λοιπόν, η πρόσφατη πρόοδος στις τεχνολογίες τέτοιων συστημάτων MMA είναι αξιοσημείωτη, η οριζόντια εφαρμογή τους προς όφελος των συστημάτων υγείας κι επομένως τον ασθενών δεν αποτυπώνεται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Η κύρια πρόκληση είναι να καταστεί δυνατή η χρήση αυτών των τεχνολογιών αλλάζοντας το μοντέλο φροντίδας με δυνατότητα κοινοποίηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Η συλλογή, η μεταφορά, η διατήρηση και η κοινή χρήση δεδομένων απαιτούν όχι μόνο την ανάπτυξη τεχνικών λύσεων αλλά και την ανάπτυξη αντίστοιχης τεχνολογικής υποδομής, αλλά και δημιουργία θεσμικού πλαισίου, το οποίο θα επιτρέψει σε διαφορετικούς οργανισμούς να μοιράζονται ταυτόχρονα δεδομένα για τον ασθενή. Παράλληλα, η αυτονομία των ασθενών στη χρήση των MMA πρέπει να ενισχυθεί για να συμβάλλει στα πολύ σημαντικά οφέλη της αυτοφροντίδας και αυτοδιαχείρισης της νόσου.

Εν τούτοις, απαιτούνται στρατηγικές για τη διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων και τη βελτίωση της εμπιστοσύνης των χρηστών και επιπλέον, απαιτείται θέσπιση και επιβολή νέων ρυθμιστικών προτύπων για την κοινή λειτουργία των βιομηχανιών MMA. Επιπλέον ζητήματα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία σχετικά με την παρεμπόδιση των συσκευών σε ευρεία κλίμακα

περιλαμβάνουν τον βαθμό αξιοπιστίας των συσκευών αυτών και η εξάρτησή τους από την ορθή χρήση από τον ασθενή. Η λανθασμένη χρήση μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα και επομένως υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της νόσου και λανθασμένη διάγνωση, περιττές εξετάσεις και άγχος του ασθενούς. Επιπλέον, λίγα έως τώρα συστήματα είναι πολυτροπικά, και το πεδίο αυτό χρήζει περαιτέρω έρευνας για την αποτελεσματική ενσωμάτωση πολλαπλών λειτουργιών. Άλλα ζητήματα όπως το κόστος, η χαμηλή απόδοση συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, οι ασταθείς διεπαφές αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και η ελλιπής κατασκευή διαδικτυακής αποθήκευσης δεδομένων (cloud) υγείας μεγάλων δεδομένων πρέπει να βελτιωθούν περαιτέρω. Είναι επομένως, σημαντικό να γίνουν περαιτέρω έρευνες στο ν τομέα αυτό, για την ανάπτυξη νέων πολυτροπικών συστημάτων MMA, τα οποία να αξιοποιηθούν κατάλληλα βελτιώνοντας τις υπηρεσίες υγείας, βελτιστοποιώντας την έκβαση των ασθενών και αυξάνοντας την ικανοποίηση των χρηστών.

Η μελέτη αυτή είχε ορισμένους περιορισμούς. Παρόλο που περιλαμβάνονται ορισμένες βάσεις δεδομένων, οι όροι αναζήτησής μας ενδέχεται να προκαλέσουν την παράλειψη σχετικών μελετών. Λόγω του διερευνητικού χαρακτήρα αυτής της ανασκόπησης, περιλάμβανε ένα ευρύ φάσμα δεδομένων αφενός και αφετέρου η επιλογή της παρουσίασης των συγκεκριμένων συστημάτων που αναπτύχθηκαν περιέχει το στοιχείο της μεροληψίας. Αν και έγινε αξιολόγηση των διαθέσιμων στη διεθνή βιβλιογραφία συστημάτων βάσει των αποτελεσμάτων αξιοπιστίας που είχαν τα αποτελέσματα των μελετών, αναγνωρίζεται η πιθανότητας υποκειμενικότητας στην ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Επιπλέον, αυτό το έγγραφο δεν αποτελεί συστηματική ανασκόπηση, αλλά μία περιεκτική παρουσίαση της τεχνολογίας στο πεδίο των MMA, κι επομένως αποκαλύπτεται το κενό για μία εκτενέστερη και μεθοδολογικά αρτιότερη συστηματική ανασκόπηση στο πεδίο.

Βιβλιογραφία

Adamson, P. B., Abraham, W. T., Bourge, R. C., Costanzo, M. R., Hasan, A., Yadav, C., Henderson, J., Cowart, P., & Stevenson, L. W. (2014). Wireless pulmonary artery pressure monitoring guides management to reduce decompensation in heart failure with preserved ejection fraction. *Circulation. Heart failure*, 7(6), 935–944.

<https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.113.001229>

Adewole, O. O., Erhabor, G. E., Adewole, T. O., Ojo, A. O., Oshokoya, H., Wolfe, L. M., & Prenni, J. E. (2016). Proteomic profiling of eccrine sweat reveals its potential as a diagnostic biofluid for active tuberculosis. *Proteomics. Clinical applications*, 10(5), 547–553. <https://doi.org/10.1002/prca.201500071>

Ajami, S., Ketabi, S., Isfahani, S. S., & Heidari, A. (2011). Readiness assessment of electronic health records implementation. *Acta informatica medica : AIM : journal of the Society for Medical Informatics of Bosnia & Herzegovina : casopis Drustva za medicinsku informatiku BiH*, 19(4), 224–227.

<https://doi.org/10.5455/aim.2011.19.224-227>

Albrecht, U. V., Malinka, C., Long, S., Raupach, T., Hasenfuß, G., & von Jan, U. (2019). Quality Principles of App Description Texts and Their Significance in Deciding to Use Health Apps as Assessed by Medical Students: Survey Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(2), e13375. <https://doi.org/10.2196/13375>

Altman, A. D., Helpman, L., McGee, J., Samouëlian, V., Auclair, M. H., Brar, H., Nelson, G. S., & Society of Gynecologic Oncology of Canada's Communities of Practice in ERAS and Venous Thromboembolism (2019). Enhanced recovery after surgery: implementing a new standard of surgical care. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, 191(17), E469–E475.

<https://doi.org/10.1503/cmaj.180635>

American Diabetes Association (2013). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes care*, 36 Suppl 1(Suppl 1), S67–S74.

<https://doi.org/10.2337/dc13-S067>

Aziz, M. H., Hasan, M. K., Mahmood, A., Love, R. R., & Ahamed, S. I. (2021). Automated Cardiac Pulse Cycle Analysis From Photoplethysmogram (PPG) Signals Generated From Fingertip Videos Captured Using a Smartphone to Measure Blood Hemoglobin Levels. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 25(5), 1385–1396.

<https://doi.org/10.1109/JBHI.2021.3068658>

Bandodkar, A. J., & Wang, J. (2014). Non-invasive wearable electrochemical sensors: a review. *Trends in biotechnology*, 32(7), 363–371.

<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.04.005>

Bantug, E. T., Coles, T., Smith, K. C., Snyder, C. F., Rouette, J., Brundage, M. D., & PRO Data Presentation Stakeholder Advisory Board (2016). Graphical displays of patient-reported outcomes (PRO) for use in clinical practice: What makes a pro picture worth a thousand words?. *Patient education and counseling*, 99(4), 483–490.

<https://doi.org/10.1016/j.pec.2015.10.027>

Barrachina Larraza, B., Alvarez Guerras, O., & Lopez-Picado, A. (2014). Capstesia, una nueva APP para la monitorización hemodinámica avanzada [Capstesia, a new APP for advanced hemodynamic monitoring]. *Revista española de anestesiología y reanimación*, 61(9), 535–536. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2014.05.013>

Baxter, C., Carroll, J. A., Keogh, B., & Vandelanotte, C. (2020). Assessment of Mobile Health Apps Using Built-In Smartphone Sensors for Diagnosis and Treatment: Systematic Survey of Apps Listed in International Curated Health App Libraries. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(2), e16741. <https://doi.org/10.2196/16741>

Beach, C., Karim, N., & Casson, A. J. (2019). A Graphene-Based Sleep Mask for Comfortable Wearable Eye Tracking. *Annual International Conference of the IEEE*

Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2019, 6693–6696.

<https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857198>

Behzad, R. and Behzad, A. (2021) The Role of EEG in the Diagnosis and Management of Patients with Sleep Disorders. *Journal of Behavioral and Brain Science*, **11**, 257-266. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2021.1110021>.

Blades, S., Marriott, H., Hundza, S., Honert, E. C., Stellingwerff, T., & Klimstra, M. (2023). Evaluation of Different Pressure-Based Foot Contact Event Detection Algorithms across Different Slopes and Speeds. *Sensors (Basel, Switzerland)*, **23**(5), 2736. <https://doi.org/10.3390/s23052736>

Buyse D. J. (2014). Sleep health: can we define it? Does it matter?. *Sleep*, **37**(1), 9–17. <https://doi.org/10.5665/sleep.3298>

Byl, N., Zhang, W., Coo, S., & Tomizuka, M. (2015). Clinical impact of gait training enhanced with visual kinematic biofeedback: Patients with Parkinson's disease and patients stable post stroke. *Neuropsychologia*, **79**(Pt B), 332–343.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.04.020>

Calabrese, B., Velázquez, R., Del-Valle-Soto, C., de Fazio, R., Giannoccaro, N. I., & Visconti, P. (2020). Solar-Powered Deep Learning-Based Recognition System of Daily Used Objects and Human Faces for Assistance of the Visually Impaired.

Energies, **13**(22), 6104. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13226104>

Carpinella, I., Cattaneo, D., Bonora, G., Bowman, T., Martina, L., Montesano, A., & Ferrarin, M. (2017). Wearable Sensor-Based Biofeedback Training for Balance and Gait in Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, **98**(4), 622–630.e3.

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.11.003>

Cavanaugh, J. T., Ellis, T. D., Earhart, G. M., Ford, M. P., Foreman, K. B., & Dibble, L. E. (2015). Toward Understanding Ambulatory Activity Decline in Parkinson Disease. *Physical therapy*, **95**(8), 1142–1150. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140498>

Cosentino, F., Grant, P. J., Aboyans, V., Bailey, C. J., Ceriello, A., Delgado, V., Federici, M., Filippatos, G., Grobbee, D. E., Hansen, T. B., Huikuri, H. V., Johansson, I., Jüni, P., Lettino, M., Marx, N., Mellbin, L. G., Östgren, C. J., Rocca, B., Roffi, M., Sattar, N., ... ESC Scientific Document Group (2020). 2019 ESC Guidelines on diabetes, pre-diabetes, and cardiovascular diseases developed in collaboration with the EASD. *European heart journal*, 41(2), 255–323. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz486>

Cox, S. M., Lane, A., & Volchenboum, S. L. (2018). Use of Wearable, Mobile, and Sensor Technology in Cancer Clinical Trials. *JCO clinical cancer informatics*, 2, 1–11. <https://doi.org/10.1200/CCI.17.00147>

Dunlop, D. D., Song, J., Semanik, P. A., Chang, R. W., Sharma, L., Bathon, J. M., Eaton, C. B., Hochberg, M. C., Jackson, R. D., Kwoh, C. K., Mysiw, W. J., Nevitt, M. C., & Hootman, J. M. (2011). Objective physical activity measurement in the osteoarthritis initiative: Are guidelines being met?. *Arthritis and rheumatism*, 63(11), 3372–3382. <https://doi.org/10.1002/art.30562>

Fisch, M. J., Chung, A. E., & Accordino, M. K. (2016). Using Technology to Improve Cancer Care: Social Media, Wearables, and Electronic Health Records. *American Society of Clinical Oncology educational book. American Society of Clinical Oncology. Annual Meeting*, 35, 200–208. https://doi.org/10.1200/EDBK_156682

Flannick, J., Johansson, S., & Njølstad, P. R. (2016). Common and rare forms of diabetes mellitus: towards a continuum of diabetes subtypes. *Nature reviews. Endocrinology*, 12(7), 394–406. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.50>

Gan, S.K.E., Koshy, C., Nguyen, P.V. *et al.* An overview of clinically and healthcare related apps in Google and Apple app stores: connecting patients, drugs, and clinicians. *Sci Phone Appl Mob Devices* 2, 8 (2016). <https://doi.org/10.1186/s41070-016-0012-7>

Garbarino, S., Lanteri, P., Bragazzi, N. L., Magnavita, N., & Scoditti, E. (2021). Role of sleep deprivation in immune-related disease risk and outcomes. *Communications biology*, 4(1), 1304. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02825-4>

Geifman, N., Armes, J., & Whetton, A. D. (2023). Identifying developments over a decade in the digital health and telemedicine landscape in the UK using quantitative text mining. *Frontiers in digital health*, 5, 1092008.

<https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1092008>

Ghamari, M., Janko, B., Sherratt, R. S., Harwin, W., Piechockic, R., & Soltanpur, C. (2016). A Survey on Wireless Body Area Networks for eHealthcare Systems in Residential Environments. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(6), 831.

<https://doi.org/10.3390/s16060831>

Gottlieb, D. J., Ellenbogen, J. M., Bianchi, M. T., & Czeisler, C. A. (2018). Sleep deficiency and motor vehicle crash risk in the general population: a prospective cohort study. *BMC medicine*, 16(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s12916-018-1025-7>

Guk, K., Han, G., Lim, J., Jeong, K., Kang, T., Lim, E. K., & Jung, J. (2019). Evolution of Wearable Devices with Real-Time Disease Monitoring for Personalized Healthcare. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 9(6), 813.

<https://doi.org/10.3390/nano9060813>

Hadjidj A, Souil M, Bouabdallah A, Challal Y, Owen H. Wireless sensor networks for rehabilitation applications : challenges and opportunities. *J Netw Comput Appl* 2013; <https://sci-hub.se/10.1016/j.inca.2012.10.002>

Hammond-Haley, M., Allen, C., Han, J., Patterson, T., Marber, M., & Redwood, S. (2021). Utility of wearable physical activity monitors in cardiovascular disease: a systematic review of 11 464 patients and recommendations for optimal use. *European heart journal. Digital health*, 2(2), 231–243. <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztab035>

Hathaliya, J. & Tanwar, S. (2020). An exhaustive survey on security and privacy issues in Healthcare 4.0. *Computer Communications*, 153, 311-335. ISSN 0140-3664. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.018>

Hendriks, M. M. S., Vos-van der Hulst, M., Weijs, R. W. J., van Lotringen, J. H., Geurts, A. C. H., & Keijsers, N. L. W. (2022). Using Sensor Technology to Measure Gait

Capacity and Gait Performance in Rehabilitation Inpatients with Neurological Disorders. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(21), 8387.

<https://doi.org/10.3390/s22218387>

Herron, J. (2016). Bad Apps: mHealth Apps Doubling as Medical Devices. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*.

[13.177-181. 10.1080/15424065.2016.1256800](https://doi.org/10.1080/15424065.2016.1256800)

Hsieh, C.-H., Dai, C.-L., & Yang, M.-Z. (2013). Fabrication and Characterization of CMOS-MEMS Magnetic Microsensors. *Sensors*, 13(11), 14728–14739.

<https://doi.org/10.3390/s131114728>

Huifeng, W. & Kadry, S. & Raj, E. (2020). Continuous health monitoring of sportsperson using IoT devices based wearable technology. *Computer Communications*. [160. 10.1016/j.comcom.2020.04.025](https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.025)

IMS Institute for Healthcare Informatics. (2015) *IQVIA*. Parsippany: IMS Institute for Healthcare Informatics; Patient Adoption of mHealth. Διαθέσιμο στο:

<https://www.iqvia.com/-/media/iqvia/pdfs/institute-reports/patient-adoption-of-mhealth.pdf>.

Kao, C. K., & Liebovitz, D. M. (2017). Consumer Mobile Health Apps: Current State, Barriers, and Future Directions. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 9(5S), S106–S115. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2017.02.018>

Katchman, B. A., Zhu, M., Blain Christen, J., & Anderson, K. S. (2018). Eccrine Sweat as a Biofluid for Profiling Immune Biomarkers. *Proteomics. Clinical applications*, 12(6), e1800010. <https://doi.org/10.1002/prca.201800010>

Khan, Y., Ostfeld, A. E., Lochner, C. M., Pierre, A., & Arias, A. C. (2016). Monitoring of Vital Signs with Flexible and Wearable Medical Devices. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 28(22), 4373–4395. <https://doi.org/10.1002/adma.201504366>

Khandan, A., Fathian, R., Carey, J. P., & Rouhani, H. (2022). Measurement of temporal and spatial parameters of ice hockey skating using a wearable system. *Scientific reports*, *12*(1), 22280. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26777-9>

Khor, S. M., Choi, J., Won, P., & Ko, S. H. (2022). Challenges and Strategies in Developing an Enzymatic Wearable Sweat Glucose Biosensor as a Practical Point-Of-Care Monitoring Tool for Type II Diabetes. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, *12*(2), 221. <https://doi.org/10.3390/nano12020221>

Kyungkwan K., Minhyun, J., Sanghun, L., Jihyun, B. (2019). Robust and scalable three-dimensional spacer textile pressure sensor for human motion detection. *Smart Materials and Structures*. [28.10.1088/1361-665X/ab1adf](https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab1adf)

Liu, H., Liu, F., Ji, H., Dai, Z., & Han, W. (2023). A bibliometric analysis of sleep in older adults. *Frontiers in public health*, *11*, 1055782.

<https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1055782>

Liu, R., Wang, X., Aihara, K., & Chen, L. (2014). Early diagnosis of complex diseases by molecular biomarkers, network biomarkers, and dynamical network biomarkers. *Medicinal research reviews*, *34*(3), 455–478.

<https://doi.org/10.1002/med.21293>

Maglione, J. E., Liu, L., Neikrug, A. B., Poon, T., Natarajan, L., Calderon, J., Avanzino, J. A., Corey-Bloom, J., Palmer, B. W., Loreda, J. S., & Ancoli-Israel, S. (2013). Actigraphy for the assessment of sleep measures in Parkinson's disease. *Sleep*, *36*(8), 1209–1217.

<https://doi.org/10.5665/sleep.2888>

Mancini, M., El-Gohary, M., Pearson, S., McNamara, J., Schlueter, H., Nutt, J. G., King, L. A., & Horak, F. B. (2015). Continuous monitoring of turning in Parkinson's disease: Rehabilitation potential. *NeuroRehabilitation*, *37*(1), 3–10.

<https://doi.org/10.3233/NRE-151236>

Marques-Deak, A., Cizza, G., Eskandari, F., Torvik, S., Christie, I. C., Sternberg, E. M., Phillips, T. M., & Premenopausal, Osteoporosis Women, Alendronate, Depression Study Group (2006). Measurement of cytokines in sweat patches and plasma in healthy women: validation in a controlled study. *Journal of immunological methods*, 315(1-2), 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.jim.2006.07.011>

Mayo Clinic Polysomnography (Sleep Study). <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/polysomnography/about/pac-20394877> [2023]

MedlinePlus. Sleep Disorders. <https://medlineplus.gov/sleepdisorders.html> [2023]

Mendes, J. J., Jr, Vieira, M. E., Pires, M. B., & Stevan, S. L., Jr (2016). Sensor Fusion and Smart Sensor in Sports and Biomedical Applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(10), 1569.

<https://doi.org/10.3390/s16101569>

Michard F. (2016). Hemodynamic monitoring in the era of digital health. *Annals of intensive care*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s13613-016-0119-7>

Nestle, F. O., Di Meglio, P., Qin, J. Z., & Nickoloff, B. J. (2009). Skin immune sentinels in health and disease. *Nature reviews. Immunology*, 9(10), 679–691.

<https://doi.org/10.1038/nri2622>

Nightingale, A. M., Leong, C. L., Burnish, R. A., Hassan, S. U., Zhang, Y., Clough, G. F., Boutelle, M. G., Voegeli, D., & Niu, X. (2019). Monitoring biomolecule concentrations in tissue using a wearable droplet microfluidic-based sensor. *Nature communications*, 10(1), 2741.

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-10401-y>

Owaki, D., Sekiguchi, Y., Honda, K., Ishiguro, A., & Izumi, S. (2016). Short-Term Effect of Prosthesis Transforming Sensory Modalities on Walking in Stroke Patients with Hemiparesis. *Neural plasticity*, 2016, 6809879.

<https://doi.org/10.1155/2016/6809879>

Parker, L., Karliychuk, T., Gillies, D., Mintzes, B., Raven, M., & Grundy, Q. (2017). A health app developer's guide to law and policy: a multi-sector policy analysis. *BMC medical informatics and decision making*, 17(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s12911-017-0535-0>

Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., & Joinson, A. (2016). The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers. *PLoS medicine*, 13(2), e1001953.

<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>

Razjouyan, J., Lee, H., Parthasarathy, S., Mohler, J., Sharafkhaneh, A., & Najafi, B. (2017). Improving Sleep Quality Assessment Using Wearable Sensors by Including Information From Postural/Sleep Position Changes and Body Acceleration: A Comparison of Chest-Worn Sensors, Wrist Actigraphy, and Polysomnography. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 13(11), 1301–1310. <https://doi.org/10.5664/jcsm.6802>

Reddy, V. S., Agarwal, B., Ye, Z., Zhang, C., Roy, K., Chinnappan, A., Narayan, R. J., Ramakrishna, S., & Ghosh, R. (2022). Recent Advancement in Biofluid-Based Glucose Sensors Using Invasive, Minimally Invasive, and Non-Invasive Technologies: A Review. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 12(7), 1082.

<https://doi.org/10.3390/nano12071082>

Reham, M. & Moustafa, Y. (2017). HeartSense: Ubiquitous Accurate Multi-Modal Fusion-based Heart Rate Estimation Using Smartphones. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. [1.1-18. 10.1145/3132028](https://doi.org/10.1145/3132028).

Robbins, R., Seixas, A., Masters, L. W., Chanko, N., Diaby, F., Vieira, D., & Jean-Louis, G. (2019). Sleep tracking: A systematic review of the research using commercially available technology. *Current sleep medicine reports*, 5(3), 156–163.

<https://doi.org/10.1007/s40675-019-00150-1>

Rodríguez-Molinero, A., Samà, A., Pérez-Martínez, D. A., Pérez López, C., Romagosa, J., Bayés, À., Sanz, P., Calopa, M., Gálvez-Barrón, C., de Mingo, E., Rodríguez Martín, D., Gonzalo, N., Formiga, F., Cabestany, J., & Catalá, A. (2015). Validation of a portable device for mapping motor and gait disturbances in Parkinson's disease. *JMIR mHealth and uHealth*, 3(1), e9. <https://doi.org/10.2196/mhealth.3321>

Rueterbories, J., Spaich, E. G., Larsen, B., & Andersen, O. K. (2010). Methods for gait event detection and analysis in ambulatory systems. *Medical engineering & physics*, 32(6), 545–552. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.03.007>

Sadeh A. (2011). The role and validity of actigraphy in sleep medicine: an update. *Sleep medicine reviews*, 15(4), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2010.10.001>

Salmani, H., Ahmadi, M., & Shahrokhi, N. (2020). The Impact of Mobile Health on Cancer Screening: A Systematic Review. *Cancer informatics*, 19, 1176935120954191. <https://doi.org/10.1177/1176935120954191>

Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., & Drummond, C. K. (2019). Wearable sensors for monitoring the physiological and biochemical profile of the athlete. *NPJ digital medicine*, 2, 72.

<https://doi.org/10.1038/s41746-019-0150-9>

Snyder, C., Smith, K., Holzner, B., Rivera, Y. M., Bantug, E., Brundage, M., & PRO Data Presentation Delphi Panel (2019). Making a picture worth a thousand numbers: recommendations for graphically displaying patient-reported outcomes data. *Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation*, 28(2), 345–356. <https://doi.org/10.1007/s11136-018-2020-3>

Sunkara, C., Thakkar, R., Ong, T., & Bunnell, B. E. (2023). Characterizing Consumer Smartphone Apps for Virtual Reality-Based Exposure Therapy: Content Analysis. *Journal of medical Internet research*, 25, e41807.

<https://doi.org/10.2196/41807>

Tao, W., Liu, T., Zheng, R., & Feng, H. (2012). Gait analysis using wearable sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *12*(2), 2255–2283.

<https://doi.org/10.3390/s120202255>

Thangada, N. D., Garg, N., Pandey, A., & Kumar, N. (2018). The Emerging Role of Mobile-Health Applications in the Management of Hypertension. *Current cardiology reports*, *20*(9), 78. <https://doi.org/10.1007/s11886-018-1022-7>

Tyler, J., Choi, S. W., & Tewari, M. (2020). Real-time, personalized medicine through wearable sensors and dynamic predictive modeling: a new paradigm for clinical medicine. *Current opinion in systems biology*, *20*, 17–25.

<https://doi.org/10.1016/j.coisb.2020.07.001>

Uzor, S. & Baillie, L. (2018). Exploring the Communication of Progress in Home-based Falls Rehabilitation using Exergame Technologies. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies.

<https://sci-hub.se/10.1145/3161195>

Vincent, J.L., Rhodes, A., Perel, A. *et al.* Clinical review: Update on hemodynamic monitoring - a consensus of 16. *Crit Care* **15**, 229 (2011).

<https://doi.org/10.1186/cc10291>

WHO (2017). mHealth Use of appropriate digital technologies for public health. Διαθέσιμο στο: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA71/A71_20-en.pdf

Worley S. L. (2018). The Extraordinary Importance of Sleep: The Detrimental Effects of Inadequate Sleep on Health and Public Safety Drive an Explosion of Sleep Research. *P & T : a peer-reviewed journal for formulary management*, *43*(12), 758–763.

Woznowski, P., Fafoutis, X., Song, T., Sion, H., Camplani, M., Lili, T., Paiement, A., Mellios, E., Mo, H., Ni, Z. (2015). A Multi-Modal Sensor Infrastructure for Healthcare in a Residential Environment. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), London, pp. 271–277.

<https://sci-hub.se/10.1109/iccw.2015.7247190>

Xiao, Jingyu & Fan, Chuan & Xu, Tailin & Su, Lei & Zhang, Xueji. (2022). An Electrochemical Wearable Sensor for Levodopa Quantification in Sweat Based on a Metal–Organic Framework/Graphene Oxide Composite with Integrated Enzymes. *Sensors and Actuators B: Chemical*. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.131586>

Yeganeh, H. (2019). An analysis of emerging trends and transformations in global healthcare. *International Journal of Health Governance*.

[24.10.1108/IJHG-02-2019-0012](https://doi.org/10.1108/IJHG-02-2019-0012).

Yokus, M. A., Songkakul, T., Pozdin, V. A., Bozkurt, A., & Daniele, M. A. (2020). Wearable multiplexed biosensor system toward continuous monitoring of metabolites. *Biosensors & bioelectronics*, *153*, 112038.

<https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112038>

Zhang, Y., Zhou, X., Pijnappels, M., & Bruijn, S. M. (2021). Differences in Gait Stability and Acceleration Characteristics Between Healthy Young and Older Females. *Frontiers in rehabilitation sciences*, *2*, 763309. <https://doi.org/10.3389/fresc.2021.763309>

Zinkhan, M., Berger, K., Hense, S., Nagel, M., Obst, A., Koch, B., Penzel, T., Fietze, I., Ahrens, W., Young, P., Happe, S., Kantelhardt, J. W., Kluttig, A., Schmidt-Pokrzywniak, A., Pillmann, F., & Stang, A. (2014). Agreement of different methods for assessing sleep characteristics: a comparison of two actigraphs, wrist and hip placement, and self-report with polysomnography. *Sleep medicine*, *15*(9), 1107–1114.

<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2014.04.015>

Zohreh, H., Soha, R., Ali, K., Xingda, C. Emerson, A., Deepak, G., Trisha, A. (2020). Multimodal Smart Eyewear for Longitudinal Eye Movement Tracking. *Matter*.

[3. 10.1016/j.matt.2020.07.030](https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.07.030).