ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Παρακολούθηση φυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας στην Ελλάδα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαράλαμπος Γ. Σκαφιδάς

Επιβλέπων: Δημήτριος – Διονύσιος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2018

Η σελίδα παρέμεινε σκοπίμως κενή

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Παρακολούθηση φυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας στην Ελλάδα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαράλαμπος Γ. Σκαφιδάς

Επιβλέπων: Δημήτριος – Διονύσιος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14η Δεκεμβρίου 2018

…….	…….	…….
Δ. Κουτσούρης	Γ. Ματσόπουλος	Π. Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2018

…….

Χαράλαμπος Γ. Σκαφιδάς

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χαράλαμπος Γ. Σκαφιδάς, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 προυπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μια προσπάθεια να εκτιμηθεί αν και κατά πόσο η στρατιωτική θητεία ενός ατόμου στην Ελλάδα επηρεάζει φυσιολογικές παραμέτρους όπως τους καρδιακούς παλμούς ηρεμίας, το σωματικό βάρος, την ποιότητα και ποσότητα του ύπνου του. Δευτερευόντως, παρουσιάζεται μια ποσοτικοποίηση της αθλητικής-φυσικής δραστηριότητας του ατόμου κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής.

Στα πρώτα δύο κεφάλαια παρουσιάζονται οι φορετές συσκευές (wearables), 'έξυπνες' ψηφιακές συσκευές με δυνατότητα παρακολούθησης διαφόρων βιομετρικών παραμέτρων. Στα επόμενα δύο, καταγράφονται οι δυνατότητες τους, η τεχνολογία που χρησιμοποιούν και η εφαρμογή τους στον τομέα της υγείας. Η ενότητα αυτή ολοκληρώνεται με ένα κεφάλαιο αφιερωμένο στη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις στην εργασία αυτή, το Garmin Vivosmart HR.

Στο έκτο και έβδομο κεφάλαιο, αναλύονται η συλλογιστική πορεία και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων στη διάρκεια μιας ενδεικτικής στρατιωτικής θητείας. Παρουσιάζονται τα δεδομένα όπως αυτά καταγράφηκαν και αποθηκεύτηκαν με τη βοήθεια της συσκευής και του λογισμικού που χρησιμοποιεί. Τα δεδομένα στο σημείο αυτό αναλύονται, ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα και κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.

Στο προτελευταίο κεφάλαιο, γίνεται αποτίμηση της προσπάθειας που έγινε και παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα. Αναφέρονται επιπλέον οι δυσκολίες και περιορισμοί που προέκυψαν κατά την εκτέλεση της εργασίας αυτής.

Κλείνοντας, στο τελευταίο κεφάλαιο προτείνονται πεδία στα οποία, σύμφωνα με τον συγγραφέα, θα μπορούσε να γίνει μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: φορετές συσκευές, φορετή τεχνολογία

Abstract

In the context of this diploma thesis, an attempt is made to assess whether military serviceof a person in Greece affects physiological parameters such as heart rate, body weight, quality and quantity of sleep. A quantification of the physical activity of the individual during this period is also presented.

In the first two chapters of the thesis there is a presentation of the wearables, ¨smart¨ digital devices with the ability to monitor various biometric parameters. In the next two, their capabilities, the technology they use and their appliance in the field of healthcare are recorded. This section is completed with a chapter focused on the device used for the necessary measurements in this work, Garmin Vivosmart HR.

In the sixth and seventh chapters, the reasoning and methodology followed throughout the measurements during military service is analyzed. There is also a presentation of the data as recorded and saved with the help of the device and the software it uses. The data at this point are analyzed to lead to useful conclusions.

In the next chapter, an evaluation of the effort made and the final conclusions are presented. The difficulties and limitations that came up in this work are also mentioned.

Finishing, in the last chapter, the author proposes areas where a future research could be made.

Key words: wearables, wearable devices, wearable technology, wearable sensors, wearable systems

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δ. Κουτσούρη, διευθυντή του Εργαστηρίου Βιοιατρικής Τεχνολογίας της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ευκαιρία που μου προσέφερε να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο μου κ. Κατρακάζα Παναγιώτη, υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την άψογη συνεργασία που είχαμε αλλά και την βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε σε κάθε στάδιο της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Χαράλαμπος Γ. Σκαφιδάς

Αθήνα, Δεκέμβριος 2018

Η σελίδα παρέμεινε σκοπίμως κενή

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη……5

Abstract……6

Ευχαριστίες……7

Ευρετήριο Εικόνων……11

Ευρετήριο Πινάκων……12

Ευρετήριο Διαγραμμάτων……13

1. Εισαγωγή……14

2. Η ιστορία των wearables……16

2.1 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου……17

3. Wearable αισθητήρες……18

3.1 Φυσικοί Αισθητήρες……23

3.2 Χημικοί Αισθητήρες……31

3.3 Πολλαπλοί Αισθητήρες……34

3.4 Ασύρματοι Αισθητήρες……35

3.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου……36

4. Τα wearables στον τομέα της υγείας……38

4.1 Ζωτικά σήματα……43

4.2 Ασθένειες, μειονεκτήματα ή αναπηρίες που μπορούν να παρακολου-θούνται από έξυπνα φορητά συστήματα……48

4.3 Εμπορικές εφαρμογές στον τομέα της υγείας……51

4.4 Η επίδραση στην κοινωνία……52

4.5 Παραδείγματα εφαρμογής φορητών αισθητήρων……53

4.6 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου……55

5. Garmin Vivosmart HR……56

6. Μεθοδολογία……65

7. Αξιολόγηση Δεδομένων……69

7.1 Βήματα – Θερμίδες……70

7.1.1 Βήματα – Θερμίδες κατά τη στρατιωτική θητεία…… 72
7.2 Καρδιακοί Παλμοί κατά την ηρεμία……75
7.3 Ώρες Ύπνου……78
7.3.1 Ώρες Ύπνου – Καρδιακοί Παλμοι Ηρεμίας……81
7.4 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου…… 83
8. Συμπεράσματα – Περιορισμοί……..84
9. Μελλοντική Έρευνα……..85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ……86

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 3.1 Πιεζοχωρητικός αισθητήρας στερεάς μορφής..... 23

Εικόνα 3.2 Αισθητήρας πίεσης μεταλλικών υγρών..... 24

Εικόνα 3.3 Αισθητήρας αφής υγρής κατάστασης με εναιώρημα γραφενίου..... 25

Εικόνα 3.4 Σχηματική απεικόνιση λεπτού αισθητήρα πίεσης επικαλυμένου με AuNW..... 26

Εικόνα 4.1 Παράδειγμα wearable συστήματος..... 39

Εικόνα 4.2 Αρχιτεκτονική συστήματος αισθητήρων για απομακρυσμένο σύστημα παρακολούθησης υγειονομικής περιθαλψης.....40

Εικόνα 4.3 Φορητοί αισθητήρες και σημεία εφαρμογής.....42

Εικόνα 5.1 Παρουσίαση Garmin Vivosmart HR.....56

Εικόνα 5.2 Garmin Vivosmart HR..... 57

Εικόνα 5.3 Βάρος Vivosmart HR..... 57

Εικόνα 5.4 Λειτουργία καταγραφής βημάτων..... 58

Εικόνα 5.5 Λειτουργία μέτρησης λεπτών έντασης..... 59

Εικόνα 5.6 Καταγραφή αύξησης υψομέτρου.....60

Εικόνα 5.7 Καταγραφή ύπνου..... 60

Εικόνα 5.8 Αποτελέσματα αερόβιας άσκησης με Garmin Vivosmart HR.....61

Εικόνα 5.9 Οπτικός αισθητήρας ανίχνευσης καρδιακών παλμών..... 62

Εικόνα 5.10 Μενού Vivosmart HR.....63

Εικόνα 5.11 Χειρισμός μουσικής που αναπαράγεται από smartphone..... 64

Εικόνα 5.12 Πληροφορίες καιρικών συνθηκών..... 64

Εικόνα 6.1 Εξέταση ηλεκτροκαρδιογραφήματος.....66

Εικόνα 6.2 Εξέταση υπερηχοκαρδιογραφήματος.....67

Εικόνα 6.3 Ηλεκτροκαρδιογράφημα πριν την έναρξη της στρατιωτικής θητείας.... 67

Εικόνα 6.4 Ηλεκτροκαρδιογράφημα μετά το πέρας της στρατιωτικής θητείας..... 67

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3.1: Συνοπτική παρουσίαση των wearable αισθητήρων..... 21

Πίνακας 4.1. Κατάλογος ζωτικών παραμέτρων..... 43

Πίνακας 6.1. Ατομικά χαρακτηριστικά χρήστη.....68

Πίνακας 7.1 Καρδιακοί παλμοί κατά την ηρεμία ανάλογα με την ηλικία.....75

Πίνακας 7.2 Ιδανικές ώρες ύπνου ανά ηλικία.....78

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 7.1. Καταγραφή ημερήσιων βημάτων.....71

Διάγραμμα 7.2. Ημερήσια κατανάλωση θερμίδων.....71

Διάγραμμα 7.3. Σύνδεση Βημάτων-Θερμίδων.....72

Διάγραμμα 7.4. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 1.....72

Διάγραμμα 7.5. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 2.....73

Διάγραμμα 7.6. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 3.....73

Διάγραμμα 7.7. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 4.....73

Διάγραμμα 7.8. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 5.....74

Διάγραμμα 7.9. Σύνδεση βημάτων - λεπτών έντασης.....74

Διάγραμμα 7.10 Καταγραφή παλμών ηρεμίας.....76

Διάγραμμα 7.11 Δεδομένα καταγραφής ύπνου.....80

Διάγραμμα 7.12 Σύνδεση παλμών ηρεμίας με ώρες ύπνου.....81

Διάγραμμα 7.13 Παλμοί ηρεμίας – Ώρες ύπνου κατά την Εβδομάδα 1.....82

Διάγραμμα 7.14 Παλμοί ηρεμίας – Ώρες ύπνου κατά την Εβδομάδα 13.....82

1. Εισαγωγή

Οι όροι 'φορετές' συσκευές (wearable devices) και 'τεχνολογία που φοριέται' (wearable technology) (στο εξής θα αναφέρονται με τον όρο wearables) αφορούν έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές που μπορούν να φορεθούν σε διάφορα σημεία του σώματος, όπως παραδείγματος χάριν τον καρπό, να ενσωματωθούν σε ρούχα ή ακόμα και να εμφυτευθούν στο ανθρώπινο σώμα[1]. Οι συσκευές αυτές μπορούν να εκτελέσουν υπολογιστικές εργασίες, όμοιες πολλές φορές με αυτές των κινητών τηλεφώνων και των φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι δυνατότητές τους ξεπερνούν τις συσκευές αυτές[2]. Ωστόσο, δεν τίθεται θέμα σύγκρισης τους αφού πρόκειται για εντελώς διαφορετικής φιλοσοφίας συσκευές. Λειτουργίες όπως βιοανάδραση και παρακολούθηση της φυσιολογικής λειτουργίας αποδεικνύουν τη διαφοροποίηση των wearable συσκευών από κινητά τηλέφωνα και φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Τα wearables επιτρέπουν στο χρήστη να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και ταυτόχρονα να έχει κάποια μορφή επικοινωνίας με τη συσκευή. Επίσης παρέχουν δυνατότητες εισαγωγής δεδομένων και τοπικής αποθήκευσης[2]. Παραδείγματα συσκευών που έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούν την wearable τεχνολογία είναι τα ρολόγια, τα γυαλιά, οι φακοί επαφής, τα ηλεκτρονικά κλωστουφαντουργικά προιόντα, τα 'έξυπνα' υφάσματα, τα κοσμήματα όπως δαχτυλίδια και βραχιόλια, και συσκευές που χρησιμοποιούνται σαν ακουστικά και μοιάζουν με σκουλαρίκια.

Η τεχνολογία που φοριέται έγινε γνωστή και ακόμη τείνει να αναφέρεται σε αντικείμενα που μπορούν να τοποθετηθούν και να απομακρυνθούν με ευκολία. Ωστόσο, περιπτώσεις όπως εμφυτευμένες συσκευές, μικροτσίπ και έξυπνα τατουάζ παρόλο που ξεφεύγουν από τη λογική αυτή αποτελούν προιόντα του κλάδου αυτού. Σε κάθε περίπτωση, είτε φοριέται, είτε ενσωματώνεται, σκοπός της wearable τεχνολογίας είναι να δημιουργήσει σταθερή, άνετη, φορητή και επί το πλήστον hands-free πρόσβαση σε ηλεκτρονικά και υπολογιστές.

Οι επιπτώσεις και οι χρήσεις της wearable τεχνολογίας είναι πολύ εκτεταμένες και μπορούν να επηρεάσουν τους τομείς της υγείας και της ιατρικής, της φυσικής κατάστασης, της γήρανσης, των αναπηριών, της εκπαίδευσης, των μεταφορών, των επιχειρήσεων, των οικονομικών, των τυχερών παιχνιδιών, της μουσικής. Εύλογα προκύπτει λοιπόν ότι θα εισχωρήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό στις ζωές των ανθρώπων. Έτσι, σε καθένα απ τους παραπάνω τομείς στόχος είναι η τεχνολογία αυτή να ενσωματωθεί στην καθημερινότητα των ανθρώπων.

Στην εποχή του Internet of Things, τα wearables, αποτελούν το καλύτερο παράδειγμα, αφού 'Things' όπως ηλεκτρονικά, λογισμικό, αισθητήρες και

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/wearable_technology
[2] www.wearabledevices.com/what-is-a-wearable-device/

συνδεσιμότητα είναι τελεστές που επιτρέπουν σε αντικείμενα να ανταλλάσουν δεδομένα μέσω του διαδυκτίου 'Internet' με κατασκευαστή, χειριστή ή/ και συνδεδεμένες συσκευές χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση[3].

Αρκετά πριν κάνουν την εμφάνιση τους στην καταναλωτική αγορά, wearable συσκευές χρησιμοποιούνταν κυρίως στον τομέα της στρατιωτικής τεχνολογίας και είχαν μεγάλες επιπτώσεις στην υγειονομική περίθαλψη και την ιατρική. Η wearable τεχνολογία έχει μια ποικιλία εφαρμογών που αναπτύσσονται καθώς το ίδιο το πεδίο επεκτείνεται. Πέρα από τις εμπορικές χρήσεις όπως τα smartphones και activity trackers, ενσωματώνεται σε συστήματα πλοήγησης (navigation systems), προηγμένα υφάσματα (advanced textiles) και υγειονομική περίθαλψη (healthcare).

Καθώς οι πιθανές χρήσεις σε διάφορους τομείς συνεχίζουν να αυξάνονται, δεν πρέπει να παραβλέπεται η κοινωνιολογική και πολιτισμική επίδραση των wearables στο μέλλον. Ήδη οι τρέχουσες συσκευές χειρός που είναι διαθέσιμες, τα τελευταία χρόνια, στον καταναλωτή όπως smartphones, tablets, iPod έχουν αλλάξει τεχνολογικά και κοινωνικά τοπία σε παγκόσμια κλίμακα. Σήμερα είναι συνηθισμένο να βλέπει κανείς ανθρώπους στο δρόμο να ασχολούνται με τις συσκευές αυτές, παρόλο που 20 χρόνια πριν τέτοια φαινόμενα ήταν ανύπαρκτα. Βασισμένοι σε αυτό, οι προγραμματιστές και αναλυτές προβλέπουν ότι η τεχνολογία που φοριέται θα αλλάξει και πάλι το παγκόσμιο τεχνολογικό και πολιτισμικό τοπίο. Αναφέρουν δε, ότι ενδέχεται επίσης να αλλάξει εξ ολοκλήρου τη φύση των κινητών τηλεφώνων και άλλων φορητών συσκευών[4].

Στα κεφάλαια που ακολουθούν η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παρουσίαση της ιστορίας των wearables, στους διάφορους τύπους αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε wearable εφαρμογές και στα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένοι, καθώς και στη σημασία και την επίδραση των wearables τόσο στον τομέα της υγείας όσο και στο σύνολο της κοινωνίας. Επίσης πραγματοποιείται μελέτη καταγραφής και ανάλυσης φυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας στην Ελλάδα με τη βοήθεια wearable συσκευής. Η εν λόγω μελέτη πραγματοποιήθηκε δοκιμαστικά σε ένα άτομο, τον συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ωστόσο δύναται να επεκταθει και στους υπόλοιπους οπλίτες. Τα προσωπικά δεδομένα παραχωρήθηκαν με τη συγκατάθεση του ατόμου και οι μετρήσεις λήφθησαν με τη συναίνεση του συμφωνα με το Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR). Το άτομο επίσης συναινεί στη διαθεσιμότητα των δεδομένων και των εξαγόμενων αποτελεσμάτων μετά το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/wearable_technology
[4] www.wearabledevices.com/what-is-a-wearable-device/

2. Η ιστορία των wearables

Η πρώτη wearable συσκευή που εμφανίσθηκε στην ανθρωπότητα είναι το ρολόι, το οποίο χρησιμοποιήθηκε από τους ανθρώπους για να βλέπουν την ώρα. Το ρολόι αρχικά φορούταν ως περιδέραιο, ενώ λιγο αργότερα έκαναν την εμφάνιση τους τα ρολόγια τσέπης[5]. Η εφαρμογή του στον καρπό πρωτοξεκίνησε το 1904, όταν ο αεροπόρος Alberto Santos Dumont, το φόρεσε στο σημείο αυτό για να έχει τα χέρια του ελύθερα καθώς πιλοτάρει [1]. Έκτοτε οι άνθρωποι ξεκίνησαν να επινοούν και κατασκευάζουν φορετές συσκευές για κάθε κατάσταση. Από εργαλεία που βοηθούσαν να κερδίσουν τυχερά παιχνίδια και δαχτυλίδια-υπολογιστικές μηχανές για τους εμπόρους μέχρι κάμερες δεμένες σε πουλιά για εναέριες λήψεις.

Η wearable τεχνολογία είναι ξεκάθαρο ότι προέρχεται από την ανάγκη των ανθρώπων να έχουν πρόσβαση σε υπολογιστικές μηχανές οπουδήποτε και οποτεδήποτε [2]. Για το σκοπό αυτό το 1980 ξεκιναει να χρησιμοποιείται το ρολόι – αριθμομηχανή και πολύ κοντα χρονικά εμφανίζεται το πρώτο ακουστικό. Αργότερα, το 2004, η εταιρεία σχεδιασμου μόδας CuteCircuit παρουσιάζει το HugShirt, το οποίο πρόκειται για την πρώτη εκδοχή wearable τεχνολογίας ενσωματωμένη σε ένδυμα [3]. Το 2008 ο Ilya Fridman ενσωμάτωσε ένα κρυμμένο μικρόφωνο Bluetooth σε σκουλαρικια. Τον ίδιο χρόνο η Spy Tie δημιούργησε μια κομψή γραβάτα με ενσωματομένη μια εγχρωμη κάμερα. Η πρώτη συσκευη που εστιαζόταν σε activity tracking βγήκε στην αγορά το 2009 από τη Fitbit.[5] Η χρονιά αυτή μπορεί να θεωρηθεί κομβική, αφού σημειώθηκε μείωση κόστους επεξεργασίας ενέργειας και εξαρτημάτων, η οποία διευκόλυνε την ευρεία υιοθέτηση και διαθεσιμότητα wearable συσκευών.

Τα επόμενα χρόνια οι σημαντικότερες εταιρείες ηλεκτρονικών μπήκαν στο χώρο των wearables κυρίως μέσω των έξυπνων ρολογιών (smartwatches) με τη Samsung και Apple να πρωτοστατούν, με τις συσκευές Samsung Galaxy Gear και Apple Watch αντίστοιχα.

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Wearable_technology

2.1 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

[1] Guler D, Gannon M, Sicchio K, “Crafting Wearables: Blending Technology with Fashion,” 1st Edition, Apress, 2016.

[2] Mann S, “Wearable Computing: A first step toward personal imaging,” in Computer, IEEE Xplore, Volume 30, Issue 2, pp 25-32, March 1997.

[3] Susan Elizabeth Ryan, “Garments of Paradise: Wearable Discourse in the Digital Age,” in The MIT Press, June 2014.

3. Wearable αισθητήρες

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι wearable αισθητήρες έχουν γίνει μια δημοφιλής επιλογή. Η συνεχής παρακολούθηση του ασθενούς μπορεί να γίνει με την προσάρτηση του αισθητήρα ή της συσκευής παρακολούθησης στο βραχίονα, το πόδι ή το όργανο που εξετάζεται. Αυτό έχει αποδειχθεί ιδιαιτερα σημαντικό, ιδίως στην περίπτωση των ηλικιωμένων, όπου ο χρόνος απόκρισης είναι πολύ σύντομος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης λόγω της χαμηλής σωματικής δύναμης και του ευπαθούς ανοσοποιητικού τους συστήματος. Αυτές οι ανάγκες έχουν οδηγήσει στην εισαγωγή φορητών συστημάτων ανίχνευσης που μπορούν να φορεθούν για μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα από τον ασθενή για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που αντιμετωπίζει και να παρέχουν σωστή αξιολόγηση. Κάποια από τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης φορητών συστημάτων ανίχνευσης είναι τα εξής:

α) Μπορεί να πραγματοποιείται τακτική παρακολούθηση στον ασθενή για την εξέταση μικρών αλλαγών.

β) Ο χρόνος απόκρισης είναι πολύ γρηγορότερος κατά τη χρήση φορητών συστημάτων σε σύγκριση με τα μη φορητά συστήματα, καθώς ο ασθενής μπορεί να ενημερώσει αμέσως τον γιατρό και να ζητήσει βοήθεια σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

γ) Το σύστημα είναι απλούστερο και ευκολότερο στη χρήση σε σύγκριση με τα μη φορητά συστήματα που θα απαιτούσαν από τον ασθενή να επισκεφθεί ένα ειδικό χώρο για να πραγματοποιηθεί κάποια εξέταση [1].

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν οδηγήσει στη ευρεία χρήση της wearable τεχνολογίας σε διάφορες εφαρμογές [5]. Παρόλο που η χρήση wearable αισθητήρων που αναπτύχθηκαν από άκαμπτους αισθητήρες εξυπηρετούσε πολλές λειτουργίες στον τομέα της βιοϊατρικής, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα στα συστήματα αυτά από την άποψη της δομής και των υλικών που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξή τους. Μερικά από αυτά τα μειονεκτήματα είναι:

α) Υψηλό κόστος παραγωγής, καθώς το κόστος των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή είναι υψηλό.

β) Οι αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας των άκαμπτων φορητών αισθητήρων (για παράδειγμα αισθητήρες πυριτίου) σε σύγκριση με τους αισθητήρες που αναπτύσσονται με εύκαμπτα υποστρώματα. Αυτό προκαλεί την απώλεια ενέργειας μακροπρόθεσμα.

γ) Ταλαιπωρία για τον ασθενή λόγω της άκαμπτης και εύθραυστης φύσης των αισθητήρων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια μυϊκών κινήσεων.

δ) Μεγαλύτερη μάζα σε σύγκριση με τους εύκαμπτους αισθητήρες, που μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στο άτομο που φοράει τη συσκευή.

ε) Ο υψηλός κίνδυνος θερμικής βλάβης που προκαλείται από την ανόργανη φύση των ηλεκτροδίων και των υποστρωμάτων των αισθητήρων.

Αντίθετα, οι εύκαμπτοι αισθητήρες έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα, γεγονός που τους καθιστά μια πολύ καλύτερη επιλογή για τις περισσότερες εφαρμογές [6]. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των ευέλικτων αισθητήρων είναι:

α) Είναι λεπτότεροι και έχουν μεγάλη ευελιξία και ευλυγισία, γεγονός που μειώνει τις επιπτώσεις της ανελαστικότητας που εμφανίζονται στα άκαμπτα αντίστοιχά τους.

β) Η αντοχή τους σε κρούσεις είναι μεγαλύτερη από αυτή των άκαμπτων αισθητήρων.

γ) Είναι χαμηλότερα στο κόστος, το οποίο είναι εξαιρετικά επωφελές για μεγάλη παραγωγή και τη χρήση.

δ) Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εύκαμπτων αισθητήρων είναι οργανικής φύσης, μειώνοντας τις πιθανότητες θερμικής βλάβης[1].

Τα wearable ηλεκτρονικά συστήματα αποτελούνται από έξυπνους αισθητήρες, φορητά υλικά, ενεργοποιητές, τροφοδοτικά, μονάδες και συνδέσεις ασύρματης επικοινωνίας, μονάδες ελέγχου και επεξεργασίας, περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη, λογισμικό και προηγμένους αλγόριθμους για την εξαγωγή δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων. Ετσι, τα συστήματα μπορούν να παρακολουθούν τις φυσιολογικές παραμέτρους του ασθενούς, όπως η θερμοκρασία, η αρτηριακή πίεση, κάποια ίωση που μπορεί να βιώνει ο ασθενής όπως επίσης και τις συγκεντρώσεις διαφόρων ιόντων και βιομορίων στην κυκλοφορία του αίματος. Για να χρησιμοποιηθούν σε wearable ηλεκτρονικά συστήματα, οι έξυπνοι αισθητήρες, που αποτελούνται από εύκαμπτα υποστρώματα και έχουν ενσωματωμένα αγώγιμα ηλεκτρόδια, πρέπει να είναι υπερβολικά λεπτοί, ελαφριοί και εύκαμπτοι. Για να κατασκευαστούν αισθητήρες που έχουν αυτές τις απαιτήσεις, έχουν εφαρμοστεί διάφορες μελέτες που χρησιμοποιούν υβριδικές δομές, υβριδικά υλικά, πολυδιάστατες νανοΐνες άνθρακα και ηλεκτρόδια με βάση τα νανοϋλικά.

Πέρα από την έννοια των wearables, η τεχνολογία εξελίσσεται ταχέως προς ένα νέο πρότυπο παραμορφώσιμων ηλεκτρονικών, όπου οι αισθητήρες μπορούν να φορεθούν σε διάφορα μέρη ανθρώπινου σώματος. Οι wearable αισθητήρες είναι η πιο εξελιγμένη μορφή παραμορφώσιμων αισθητήρων, καθώς περιλαμβάνουν τεχνολογίες αιχμής που αναπτύσσονται μέσω της συνεργασίας διαφόρων κλάδων, από την επιστήμη των υλικών μέχρι την ηλεκτρική και τη μηχανολογία. Το υπόστρωμα, το ηλεκτρόδιο και τα ενεργά υλικά αποτελούν σημαντικά δομικά στοιχεία των wearable αισθητήρων. Το σημαντικότερο μέρος ώστε ο αισθητήρας να είναι εύκαμπτος με ικανποιητική ικανότητα τάνυσης είναι το υπόστρωμα. Για την υλοποίηση ενός εύκαμπτου αισθητήρα, χρησιμοποιούνται εύκαμπτα υποστρώματα όπως ταινίες τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου (PET) και πολυϊμιδίου (PI) [7]. Η ταινία PET έχει καλή ευκαμψία (συντελεστής κάμψης: 8,3-14 GPa, συντελεστής Young: 3,5-11 GPa). Ωστόσο, η χαμηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Tg ≈ 100 ° C) δεν είναι κατάλληλη για κατασκευή σε υψηλή θερμοκρασία. Οι ταινίες PI δείχνουν καλή

θερμική σταθερότητα (Tg ≈ 300 ° C) λόγω ισχυρής δέσμευσης ιμιδίου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία. Επίσης, η ταινία PI έχει καλή ευελιξία όπως και η αντίστοιχη PET (μέτρο κάμψης: 3,9-19 GPa, συντελεστής Young: 3,7-20 GPa). Μια τυπική ταινία PI έχει κιτρινωπό-καφέ χρώμα. Ωστόσο, έχουν αναπτυχθεί και άχρωμες PI ταινίες για χρήση σε διαφανείς συσκευές και ηλεκτρονικά τα τελευταία χρόνια [2].

Όπως προαναφέρθηκε για να έχουν οι αισθητήρες τα κατάλληλα χαρακτηριστικά απαιτούν ελαστικά υποστρώματα. Τα ελαστομερή με βάση πυρίτιο όπως το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS) και το Ecoflex επιλέγονται ως εκτάσιμα υποστρώματα σε πολυάριθμες έρευνες αισθητήρων, που σχηματίζονται από τον πολυμερισμό μονομερών σιλοξανίου με καταλύτες λευκοχρύσου. Το PDMS έχει 4,8 MPa συντελεστή Young και όριο επιμηκύνσεως 420%. Το Ecoflex παρουσιάζει όριο επιμηκύνσεως 900%. Αυτά τα ελαστομερή συνδέονται σε μορφή αλυσίδας με χαμηλή ενδομοριακή δύναμη, και διαθέτουν πολύ καλή ικανότητα τάνυσης. Εκτός από τα ελαστομερή με βάση το πυρίτιο, το παριλένιο χρησιμοποιείται επίσης για το υπόστρωμα των φορητών αισθητήρων με λεπτή μεμβράνη λόγω της αντοχής και της ενδιάμεσης ευκαμψίας (συντελεστής Young's≈4 GPa).

Τα υλικά του ηλεκτροδίου παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στην συμπεριφορά των wearable αισθητήρων. Τα τμήματα υποστρώματος χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον υλικά με βάση το πολυμερές, αλλά στην περίπτωση των ηλεκτροδίων, χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια με βάση το μέταλλο επειδή η υψηλή αγωγιμότητα είναι σημαντική. Για το σχηματισμό εύκαμπτων δομών χρησιμοποιείται λεπτό μέταλλο ή μέταλλο σε σχήμα σερπεντίνας για να αυξήσει την ελαστικότητα [8].

Ανάλογα τον τύπο και τον σκοπό του αισθητήρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα υλικά για την κατασκευή του. Ο αισθητήρας τάσης ή πίεσης χρησιμοποιεί μια αντίσταση ευαίσθητη σε τάση ή πιεζοηλεκτρικό υλικό που αλλάζει την αντίσταση σύμφωνα με την τάση ή την πίεση. Χημικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν κυρίως νανοσωλήνες άνθρακα (CNT). Οι επιφάνειες CNT και γραφενίου μπορούν εύκολα να συντονιστούν και να παράξουν διαφορετικούς αισθητήρες.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται διάφοροι τύποι wearable αισθητήρων με αναφορά στα υλικά από τα οποία είναι κατασκευσμένοι και ορισμένες ιδιότητές τους.

Τύπος αισθητή-ρα	Στοιχείο ανίχνευ-σης	Υπόστρω-μα	Ηλεκτρό-διο	Εφαρμοζό-μενη Τάση	Ευκαμψία	Ελαστικό-τητα
Θερμοκρασίας	Θερμοκρασία χειρός	PDMS ή λεπτό PVA	Au	0,6 V	-	100%
Θερμοκρασίας	Θερμοκρασία	PDMS	AgNW	10 V	-	50%
Θερμοκρασίας	Ενδοθηλιακό στρώμα	Πολυεστεστερ ική λωρίδα υφάσματος επικαλυμένη με PDMS	Au	0,8 V	0,01%	-
Πίεσης	Ενδοφθάλμια πίεση	Παρυλένιο	γραφένιο-AgNW	-	Ακτίνα κάμψης 3,1 μm	25%
Πίεσης	Δερματική πίεση	Ecoflex	Au	VG:3,5V VD:0,1 V	Ακτίνα κάμψης 14,8 mm	30%
Πίεσης	Αφή	PET ή πολυουρεθάν η	Αγωγιμότητα άνθρακα	0,1 V	Ακτίνα κάμψης 30 mm	30%
Πίεσης	Πνευμονική καρδιακή αρθρίτιδα	PDMS	Au	1,5 V	Ακτίνα κάμψης 30 mm	25%
Πίεσης	Πίεση	PDMS και εποξείδιο	Au	VG:25V VD:0,1 V	-	-
Τάσης	Εκφράσεις προσώπου	PDMS	PEDOT:PSS	1 V	3,60%	100%
Τάσης	Παλμοί καρδιάς	PDMS	Υφαντά από γραφένιο	1 V	-	30%
Τάσης	Πίεση	PDMS		-	-	150%
Τάσης	Κίνηση αρθρώσεων	Ελαστομερές σιλικόνης	Ασημένιο σύρμα	AC 5 V, 50~200 Hz	-	700%
Τάσης	Κάμψη	Πολυστυρένιο επικαλυμενο με PDMS	Ασημένια πάστα	1,2 V	0,33%	
Τάσης	Λεμφοίδημα	Solaris	Cu	-	-	30%
Τάσης	Τάση	Υφαντουργικό προιόν PET	carbon νανοσωλήνας	-	3~5%	-
Αερίου	O_2	PTFE	Au	- 1,4 V		-
Αερίου	NO_2	PES	Cr/Au	30 V	DR/R0 = 5% υπό κάμψη 1,4%	-
Αερίου	NO_2	Χαρτί	Au	4,1 V	Γωνία κάμψης 70°	-
Αερίου	Πτητικές ενώσεις	Πλαστικό υπόστρωμα	Cr/Au	-0,1V~0,1V	Γωνία κάμψης 15°	-

Αερίου	DMMP	PI ή PDMS ή παρυλένιο	γραφένιο-AgNW	0,1 V	-	20%
Αερίου	H_2S, C_2H_5OH, H_2	PI	Ti/Au	-	Γωνία κάμψης 30°	-
Βίοαισθητήρες	Πρωτείνες	PI ή PDMS ή παρυλένιο	γραφένιο-AgNW	0,1 V	Ακτίνα κάμψης 27μm	20%
Βίοαισθητήρες	Βακτήρια	Ινώδες μετάξι	Cr/Au	-	-	-
Βίοαισθητήρες	Γαλακτικό	Goretex	Ag/AgCl	0,05 V	Γωνία κάμψης 90°	~10%
Βίοαισθητήρες	D-γλυκόζη	Ταινία πολυϊμιδίου	Cr/Au	0,2~0,8 V	Ακτίνα κάμψης 0,08%	-
Βίοαισθητήρες	Γλυκόζη	PDMS, Πολυϊμίδιο, Παρυλένιο	γραφένιο-AgNW	0,1 V	-	ΔR<6% σε 25% τάση εφελκυσμού
Βίοαισθητήρες	Γλυκόζη, γαλακτικό	PDMS	-	-	Ακτίνα κάμψης 5 cm	Τάση 30%
Βίοαισθητήρες	Σιελογόνο ουρικό οξύ	PET	Ag/AgCl	-	-	-
Ιόντων	Χλωριούχο, H+	PDMS	-	-	Ακτίνα κάμψης 5 cm	Τάση 30%
Ιόντων	Na+, K+	Ύφασμα	Ecoflex περιεχ. Ag	-	Γωνία κάμψης 180°	100%
Ιόντων	Na+, K+	PET	Cr/Au, Ag/AgCl	3,7 V	Ακτίνα καμπυλότητας 1,5 cm	-
Ιόντων	H+	Μεθυλομεθακρυλικό	Γραφίτης	-0,4~0,4 V	Ακτινα καμπυλότητας 1,2 cm	0,04
Ιόντων	Ca2+, H+	PET	Ag/AgCl ηλεκτρόδιο αναφοράς	-	-	-

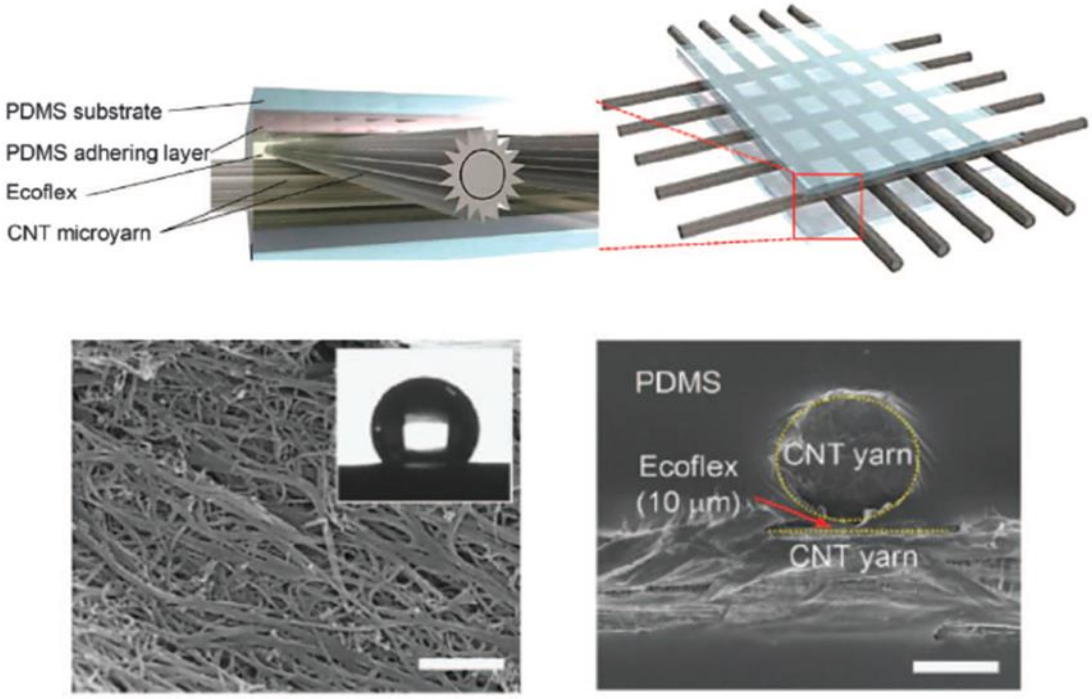
Πίνακας 3.1. Συνοπτική παρουσίαση των wearable αισθητήρων [2].

Στη συνέχεια ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά σε διάφορους τύπους αισθητήρων. Αρχικά παρουσιάζονται οι φυσικοί και χημικοί αισθητήρες. Οι πρώτοι έχουν ικανότητα ανίχνευσης θερμοκρασίας, πίεσης και τάσης ενώ οι δεύτεροι ανιχνεύουν αέρια, ιόντα και βιομόρια. Αμέσως μετά, περιγράφονται κάποιοι πιο πολύπλοκοι αισθητήρες που μπορούν να παρακολουθούν ταυτόχρονα αρκετά φυσιολογικά σήματα.

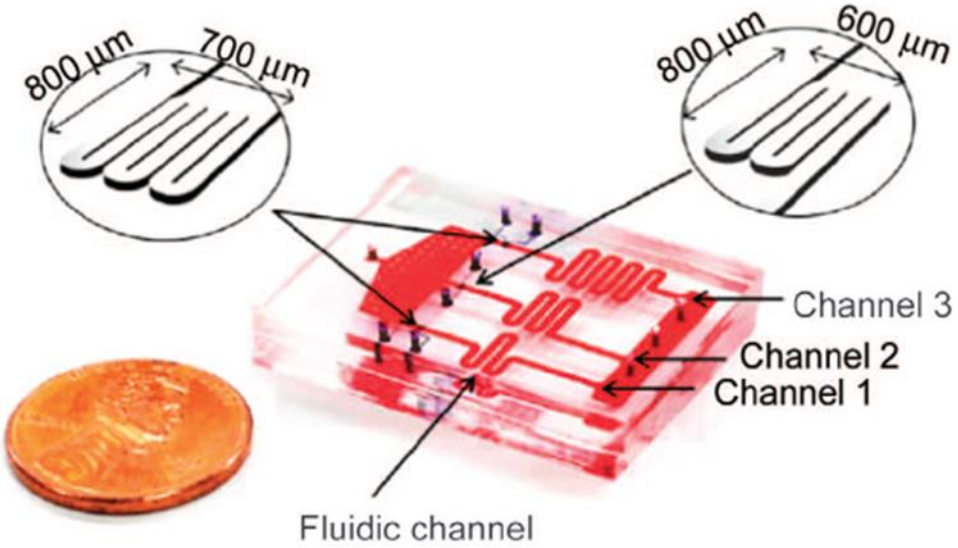
3.1 Φυσικοί Αισθητήρες

Οι φυσικοί αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από μια πληθώρα κυρίως εύκαμπτων υλικών και υποστρωμάτων. Τα εύκαμπτα υλικά παρέχουν σημαντικές ικανότητες παραμόρφωσης και προσαρμογής σε επιφάνειες με διάφορες τοπολογίες και γεωμετρίες [3]. Αυτό το μοναδικό χαρακτηριστικό τα καθιστά βασικά υλικά για φυσικούς αισθητήρες. Κανονικά, οι εύκαμπτοι αισθητήρες κατασκευάζονται από υποστρώματα όπως πολυανθρακικό (PC) και τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), τα οποία διαθέτουν υψηλή παραμόρφωση και οπτική διαφάνεια. Παρόλα αυτά, μια άλλη κατηγορία εύκαμπτων υποστρωμάτων, τα μαλακά ελαστομερή σιλικόνης, όπως το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS) και τα καουτσούκ σιλικόνης, παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας της παροχής επιπλέον πλεονεκτημάτων.

Γενικά, η λειτουργία των φυσικών αισθητήρων βασίζεται στις μεταβολές των ηλεκτρικών τους παραμέτρων για να ανιχνεύσουν και ποσοτικοποιήσουν τα φυσικά δεδομένα συμπεριλαμβανομένης της πίεσης και της θερμοκρασίας. Ανάλογα με τον τύπο του ενεργού αισθητήριου στοιχείου, οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να κατανεμηθούν σε στερεάς και υγρής κατάστασης. Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία το ενεργό στοιχείο ανίχνευσης είναι σε στερεά μορφή. Μερικά παραδείγματα αποτελούν τα νανοϋλικά των πολυμερών, του άνθρακα, των ημιαγωγών και των μετάλλων, όπως νανοσωλήνες άνθρακα (CNTs). Αντίθετα, οι φυσικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούν ενεργά υλικά υγρής μορφής, όπως ιοντικά και μεταλλικά υγρά, χαρακτηρίζονται ως αισθητήρες υγρής κατάστασης.



Εικόνα 3.1 Πιεζοχωρητικός αισθητήρας στερεάς μορφής [4].

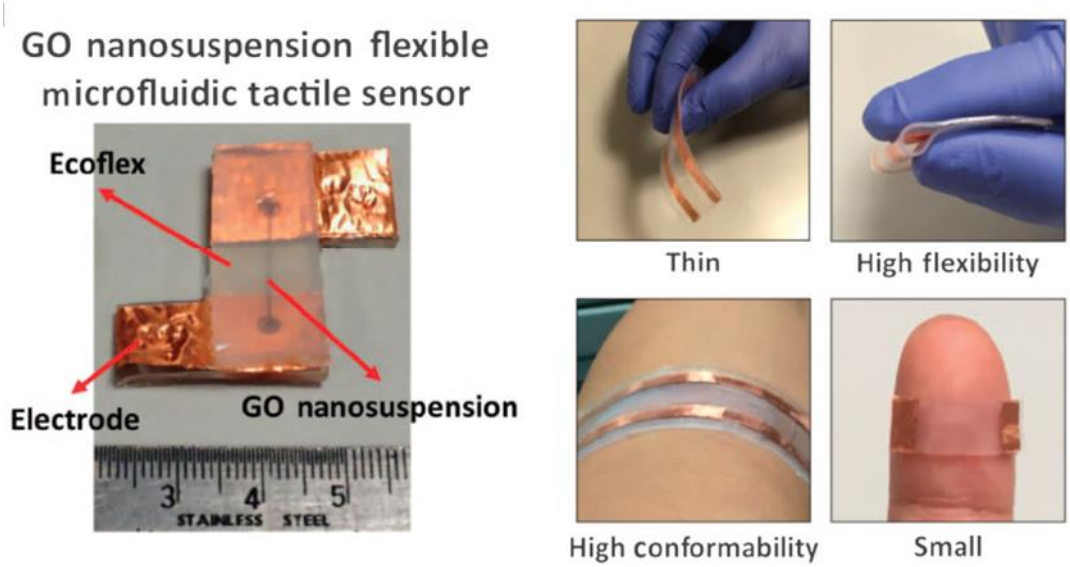


Εικόνα 3.2 Αισθητήρας πίεσης μεταλλικών υγρών [4].

Οι εύκαμπτοι wearable αισθητήρες αναμένεται να παρέχουν ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα ανίχνευσης χωρίς να επηρεάζονται οι φυσικές κινήσεις και η άνεση των χρηστών. Έτσι, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που αναμένεται να διαθέτουν οι αισθητήρες είναι η προσαρμοστικότητα τους στο δέρμα και η ελαστικότητα. Για την επίτευξη αυτών των ιδιοτήτων έχουν επιλεγεί εύκαμπτα θερμοπλαστικά πολυμερή, όπως τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), PC και πολυουρεθάνη (PU), για την κατασκευή εύκαμπτων υλικών λόγω της εξαιρετικής οπτικής τους διαφάνειας, της ευκολίας κατασκευής και της εξαιρετικής τους ικανότητας παραμόρφωσης. Εκτός από αυτά τα υλικά, ένας άλλος τύπος εύκαμπτων υποστρωμάτων που έχει μεγάλο ενδιαφέρον πρόσφατα είναι τα μαλακά ελαστομερή σιλικόνης, συγκεκριμένα το PDMS. Αυτή η ομάδα εύκαμπτων ελαστομερών παρέχει υψηλό βαθμό παραμορφωσιμότητας και προσαρμοστικότητας σε διαφορετικές επιφάνειες με ποικίλες υφές και γεωμετρίες, καθιστώντας τα ως ένα από τα θεμελιώδη συστατικά των φορητών αισθητήρων ανίχνευσης. Επιπλέον, τα εύκαμπτα ελαστομερή σιλικόνης είναι γενικά χημικά αδρανή και βιοσυμβατά, καθιστώντάς τα εξαιρετικά για χρήση σε εμφυτεύσιμους εύκαμπτους αισθητήρες.

Εκτός από το μαλακό υπόστρωμα, το βασικότερο συστατικό ενός λειτουργικού αισθητήρα είναι τα ενεργά αισθητήρια στοιχεία. Οι εμπορικά διαθέσιμοι αισθητήρες χρησιμοποιούν συνήθως πιεζοηλεκτρικά, χωρητικά ή αντιστατικά υλικά. Ωστόσο, εξερευνούνται πιο προηγμένα υλικά με καταλληλότερα χαρακτηριστικά ως αισθητήρια στοιχεία. Τα ανόργανα υλικά με τη μορφή νανοινών ή νανοσωματιδίων εξετάζονται εκτενώς ως εναλλακτικές λύσεις λόγω της ευαισθησίας τους και της ευκολίας συναρμολόγησης σε μη συμβατικά υλικά. Τα νανοϋλικά με βάση τον άνθρακα, για παράδειγμα, προσφέρουν ανώτερη ευαισθησία λόγω των αξιοσημείωτων ηλεκτρικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους. Αυτά τα

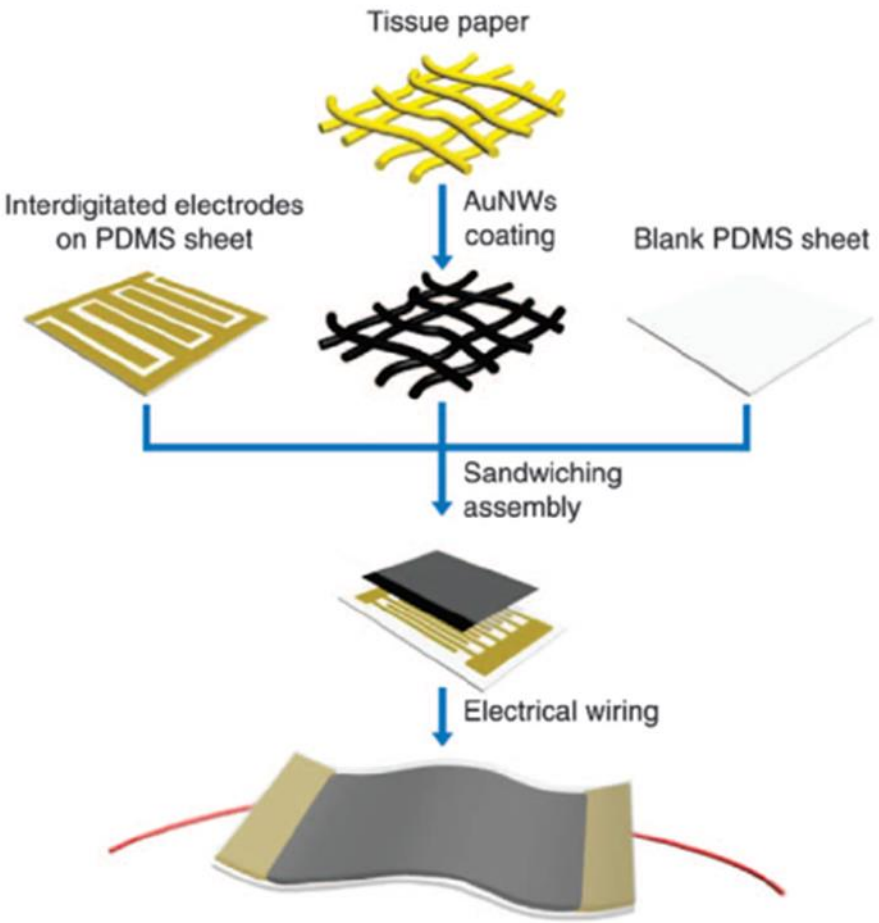
νανοϋλικά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για διάφορες εφαρμογές ανίχνευσης, συμπεριλαμβανομένων βιομορίων, χημικών, μηχανικής καταπόνησης και πίεσης. Πιο πρόσφατα, διερευνώνται για το σκοπό αυτό 2D νανοϋλικά όπως το γραφένιο. Η συμβατότητα των φυσικών ιδιοτήτων αυτών των νανοϋλικών είναι ένα από τα πολλά υποσχόμενα χαρακτηριστικά για την εφαρμογή τους ως ευέλικτες πλατφόρμες ανίχνευσης. Πράγματι, οι φυσικοί αισθητήρες με βάση το γραφένιο έχουν εφαρμοστεί σε πολλές εφαρμογές τα τελευταία χρόνια, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης και παρακολούθησης της υγρασίας, του pH, των χημικών, των βιομορίων και των μηχανικών δυνάμεων.



Εικόνα 3.3 Αισθητήρας αφής υγρής κατάστασης με εναιώρημα γραφενίου [4].

Η ανάπτυξη wearable φορητών αισθητήρων απαιτεί καινοτομίες τόσο στην επιστήμη των υλικών όσο και στη διαδικασία κατασκευής. Συμβατικά, η κατασκευή αισθητήρων βασίζεται στην τυπική διαδικασία φωτολιθογραφίας. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία είναι σε μεγάλο βαθμό ασύμβατη με εύκαμπτα υποστρώματα. Επομένως, απαιτούνται διαφορετικές οδοί κατασκευής για την παραγωγή ευέλικτων συστημάτων ανίχνευσης. Μεταξύ των προσπαθειών που γίνονται, οι λειτουργικές τεχνικές εκτύπωσης είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος κατασκευής. Το βασικό συστατικό των τυπωμένων ηλεκτρονικών είναι η αγώγιμη μελάνη, η οποία τυπικά περιέχει ένα υγρό αιώρημα μεταλλικών σωματιδίων ή ανόργανων υλικών. Αυτή η μοναδική σύνθεση επιτρέπει την ομοιόμορφη εναπόθεση της αγώγιμης μελάνης στα επιθυμητά πολυμερικά υποστρώματα και την επακόλουθη σκλήρυνση των υποστρωμάτων που επικαλύπτονται με μελάνη σε υψηλές θερμοκρασίες. Δυστυχώς, λόγω της υψηλής απαιτήσεως θερμοκρασίας πυροσυσσωμάτωσης, αυτή η τεχνική αρχικά περιορίζεται σε μικρό αριθμό θερμοπλαστικών όπως το πολυϊμίδιο (PI). Παρ 'όλα αυτά, η πρόοδος στη σύνθεση υλικών και η κατασκευή συσκευών έχουν

μετριάσει την απαίτηση για υψηλή θερμοκρασία έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό και πιο προσιτές θερμοπλαστικές εναλλακτικές λύσεις, όπως το ναφθαλικό πολυαιθυλένιο (PEN) [4].



Εικόνα 3.4 Σχηματική απεικόνιση λεπτού αισθητήρα πίεσης επικαλυμένου με AuNW [4].

Οι φυσικοί αισθητήρες είναι ικανοί να ανιχνεύουν παραμέτρους, όπως θερμοκρασία, πίεση και τάση. Όπως προαναφέρθηκε έχουν αναπτυχθεί wearable φυσικοί αισθητήρες που είναι επαρκώς ευέλικτοι και εύκαμπτοι ώστε να μην παραμορφώνονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα δεδομένα που μετρώνται με τετοιού τύπου αισθητήρες μπορούν να υποδεικνύουν την κατάσταση ενός ατόμου, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας του σώματος και του δέρματος, της αρτηριακής πίεσης, του ρυθμού παλμών. Όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι σημαντικοί δείκτες της κατάστασης της υγείας ενός ατόμου. Δεδομένου ότι οι φυσικοί αισθητήρες μπορούν να παρακολουθήσουν και να καταγράψουν παραμέτρους όπως αυτές που προαναφέρθηκαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο πλήθος εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης [2,8,14].

- Αισθητήρες θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία του σώματος είναι ένας από τους θεμελιώδεις παράγοντες που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία και τη σωματική δραστηριότητα. Αλλαγές στη θερμοκρασία μπορεί να είναι ενδεικτικές παθολογικών συμπτωμάτων, όπως λοίμωξη, φλεγμονή, υπερθερμία και υποθερμία. Επιπλέον, η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του σώματος σε πραγματικό χρόνο είναι ζωτικής σημασίας για την αναγνώριση ξαφνικών ανεπιθύμητων συμβάντων, όπως καρδιακών προσβολών. Ακόμη σε ομάδες ανθρώπων, όπως οι αθλητές και οι στρατιώτες, των οποίων η απόδοση επηρεάζεται από την θερμοκρασία του σώματος, η παρακολούθησή της είναι σημαντική.

Δεδομένου ότι συνδέονται στενά με το περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή, οι αισθητήρες θερμοκρασίας έχουν μελετηθεί εκτενώς σε διάφορες εφαρμογές. Για την κατασκευή αισθητήρων θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετές μέθοδοι και μπορούν να χωριστούν σε διάφορους τύπους, όπως πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές θερμοκρασίας, ανιχνευτές θερμικής αντίστασης και θερμίστορ. Εκτός από τις μελέτες που σχετίζονται με τους αισθητήρες θερμοκρασίας, έχουν διεξαχθεί και άλλες σχετικές έρευνες. Παράδειγμα αποτελεί ο θερμικός ανιχνευτής που χρησιμοποιεί θερμοχρωμικά υλικά που αλλάζουν χρώματα όταν αλλάζει η θερμοκρασία. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αυτοί οι αισθητήρες θερμοκρασίας για την παρακολούθηση της υγείας και των δραστηριοτήτων των ανθρώπων, πρέπει να είναι εύκαμπτοι και ελαστικοί ώστε να μπορούν να συνδεθούν με επιτυχία στο άτομο που θα παρακολουθείται. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιτυγχάνονται με τη χρήση πολυμερών ως ενεργό υλικό και με την αναμόρφωση της δομής.

Οι πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές θερμοκρασίας κατασκευάζονται για να επωφεληθούν από το πυροηλεκτρικό φαινόμενο, το οποίο είναι η δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου από την αυθόρμητη πόλωση του υλικού λόγω αλλαγών στη θερμοκρασία. Το τανταλικό λιθίου (LiTaO3) και το τιτανικό βάριο (BaTiO3) είναι τυπικά πυροηλεκτρικά υλικά στα οποία το κρυσταλλικό πλέγμα έχει εγγενή πολικότητα. Επειδή αυτά τα πυροηλεκτρικά υλικά είναι άκαμπτοι κρύσταλλοι, είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε εύκαμπτα ηλεκτρονικά. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, πυροηλεκτρικά υλικά με βάση το πολυμερές, όπως το φθοριούχο πολυβινυλιδένιο (PVDF) και τα συμπολυμερή του, έχουν ερευνηθεί και χρησιμοποιούνται ως φορητοί αισθητήρες θερμοκρασίας.

Οι ανιχνευτές θερμικής αντίστασης (resistive temperature detectors - RTD) είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους αισθητήρων θερμοκρασίας. Ένα καθαρό μέταλλο, συνήθως πλατίνα ή χαλκός, χρησιμοποιείται ως το υλικό αντίστασης. Η αντίσταση του μετάλλου αυξάνεται γραμμικά καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται ανάλογα και με τον συντελεστή θερμοκρασίας αντίστασης. Έτσι, οι μεταλλικοί αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας σύμφωνα με την εξίσωση $R=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$, όπου R είναι η αντίσταση του αισθητήρα σε θερμοκρασία T και R_0 η αντίσταση σε θερμοκρασία αναφοράς, συνήθως 20^oC, α

είναι ο θερμικός συντελεστής αντίστασης, T η θερμοκρασία του αισθητήρα και T_0 η θερμοκρασία αναφοράς.

Οι παραπάνω ανιχνευτές χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση θερμοκρασιών στην περιοχή των 30-40°C. Σε αντίθεση με αυτούς, η αντίσταση των αισθητήρων τύπου θερμίστορ έχει μη γραμμική σχέση με τη θερμοκρασία και υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση, $R=R_0\exp(B/T)$, όπου R η αντίσταση στη θερμοκρασία T, R_0 η αντίσταση για $T=\infty$, B θερμικός δείκτης και T η θερμοκρασία του αισθητήρα. Αυτό επιτρέπει σε αυτούς τους αισθητήρες να μετρήσουν τη θερμοκρασία πολύ ακριβέστερα από τους RTD, αλλά το εύρος θερμοκρασίας είναι περιορισμένο. Επιπλέον, έχουν σημαντικό πλεονέκτημα στις βιο-εφαρμογές επειδή έχουν υψηλή ευαισθησία και χαμηλό κόστος [2].

- Αισθητήρες πίεσης

Οι τιμές πίεσης που μετρώνται είναι πολύ διαφορετικές ανάλογα με το μέρος του σώματος ή το σκοπό. Τα πιθανά εύρη τιμών των αισθητήρων πίεσης που μπορούν να φορεθούν χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Αυτές είναι η περιοχή χαμηλής πίεσης (<10 kPa), η περιοχή μεσαίας πίεσης (10 έως 100 kPa) και η περιοχή υψηλής πίεσης (> 100 kPa). Η περιοχή χαμηλής πίεσης (<10 kPa), η οποία αντιστοιχεί τόσο στις ενδοφθάλμιες όσο και στις ενδοκρανιακές πιέσεις, είναι μια σημαντική περιοχή επειδή περιλαμβάνει την πίεση εντός του σώματος. Στην περιοχή μέτριας πίεσης (10 έως 100 kPa) περιλαμβάνει μεταξύ άλλων η αρτηριακή πίεση, ο καρδιακός ρυθμός, οι δονήσεις της φωνής και η μέτρηση χαρακτηριστικών του δέρματος. Η περιοχή υψηλής πίεσης (> 100 kPa) περιλαμβάνει το βάρος ενός ατόμου και την ατμοσφαιρική πίεση σε μεγάλα υψόμετρα. Με τη μέτρηση αυτών των διαφόρων τύπων πίεσης, μπορούμε να παρακολουθήσουμε ασθένειες των ματιών, καρδιακές παθήσεις, προβλήματα στις φωνητικές χορδές και την άσκηση. Έτσι, αισθητήρες πίεσης για χρήση σε wearables έχουν μελετηθεί εκτενώς για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και ιατρικής. Διάφοροι μηχανισμοί ανίχνευσης εφαρμόζονται ώστε να μετατρέπουν τα φυσικά ερεθίσματα σε ηλεκτρικά σήματα. Στη συνέχεια εξετάζονται ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας, ο αισθητήρας πιεζοαντίστασης και αισθητήρας χωρητικότητας [14].

Ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας βασίζεται στην αρχή του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, σύμφωνα με το οποίο ηλεκτικά φορτία εμφανίζονται σε στερεά υλικά τα οποία βρίσκονται υπό πίεση. Ουσιαστικά τα υλικά λειτουργούν σαν δίπολα τα οποία πολώνονται και αυτή η πόλωση είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης πίεσης. Λόγω του γρήγορου χρόνου απόκρισης και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην ανίχνευση δυναμικών πιέσεων, όπως οι μεταβολές του ήχου. Τυπικά υλικά που χρησιμοποιούνται για πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες πίεσης είναι τιτάνιο τριοξείδιο του μολύβδου (PbTiO3), τιτάνιο τριοξείδιο του βαρείου (BaTiO3), φθοριούχο πολυβινυλιδένιο (PVDF) και φθοριούχο βινυλιδένιο-συν-τριφθοροαιθυλένιο [P (VDF-

TrFE)]. Συγκεκριμένα, ένας αισθητήρας τύπου ταινίας χρησιμοποιείται εκτεταμένα για την κατασκευή ενός wearable αισθητήρα πίεσης και ένα αντιπροσωπευτικό υλικό είναι P (VDF-TrFE).

Ο αισθητήρας πιεζοηλεκτρικής πίεσης βασίζεται στο γεγονός ότι η αντίσταση του υλικού αλλάζει όταν σε αυτό εφαρμοστεί πίεση. Η αλλαγή της αντίστασης του υλικού υπολογίζεται με τη βοήθεια της μαθηματικής σχέσης $\Delta R/R=(1+2v)\varepsilon+(\Delta\rho/\rho)$. Η σχέση αυτή μας δείχνει ότι η αλλαγή στην αντίσταση προέρχεται από τη μεταβολή της διάστασης του υλικού από την πίεση που ασκήθηκε. Ο αισθητήρας πίεσης που χρησιμοποιεί αυτόν τον μηχανισμό είναι πολύ απλός στην κατασκευή και έχει μελετηθεί εκτενώς επειδή μπορεί να ανιχνεύσει ευρύ φάσμα πιέσεων. Συνήθως, στο ελαστομερές προστίθενται αγώγιμα υλικά (μειωμένα οξείδια γραφένιου (rGO), νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) ή σωματίδια μετάλλων για την παραγωγή υλικών με ιδιότητες πιεζοαντίστασης, αλλά αυτοί οι αισθητήρες έχουν χαμηλή ευαισθησία. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, έχουν διεξαχθεί μελέτες για την αύξηση της ευαισθησίας χρησιμοποιώντας μικροδομή ή πορώδη δομή.

Οι αισθητήρες χωρητικότητας χρησιμοποιούν πυκνωτές των οποίων οι τιμές χωρητικότητας ποικίλλουν ανάλογα με το πάχος των διηλεκτρικών υλικών. Η χωρητικότητα υπολογίζεται από τη σχέση $C=\varepsilon_0\varepsilon_r(A/d)$, όπου ε_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού, ε_r η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού, A το εμβαδόν του κάθε οπλισμού και d η απόσταση μεταξυ των οπλισμών ή αλλιώς το πάχος του διηλεκτρικού. Όταν το πάχος μειώνεται από την πίεση, η χωρητικότητα αυξάνεται. Υλικα που χρησιμοποιούνται για αλλαγή του πάχους ανάλογα με την πίεση είναι το PDMS (πολυδιμεθυλοσιλοξάνη), το ecoflex και η πολυουρεθάνη (PU) [2].

- Αισθητήρες τάσης

Όταν ένα άτομο κινείται συμβαίνουν μικρές και μεγάλες παραμορφώσεις. Οι αισθητήρες αυτού του τύπου παρακολουθούν την κίνηση του σώματος του ατόμου από τη δόνηση των φωνητικών χορδών μέχρι τις κινήσεις των αρθρώσεων. Είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να είναι ελαστικοί και εύκαμπτοι και ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους χωρίζονται σε πιεζοαντίστασης, χωρητικούς και πιεζοηλεκτρικούς.

Οι αισθητήρες πιεζοαντίστασης όπώς καταλαβαίνει κανείς από την ονομασία τους, ανιχνεύουν παραμορφώσεις από μεταβολές της αντίστασης. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται συχνά ημιαγώγιμα υλικά όπως οξείδιο ψευδαργύρου (ZnO), και CNT. Έχει επίσης εφαρμοστεί ενσωμάτωση νανοσωλήνων άνθρακα σε αγώγιμο ελαστομερές πολυουρεθάνης.

Οι χωρητικοί αισθητήρες ανιχνεύουν μεταβολές στη χωρητικότητα που προκύπτουν από αλλαγές στη γεωμετρία του πυκνωτή. Συνήθως αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια χωρισμένα με ελαστομερές διηλεκτρικό. Για την εξασφάλιση της ελαστικότητας σε wearable εφαρμογές χρησιμοποιούνται εκτάσιμα ηλεκτρόδια όπως mNWs ή CNTs.

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες τάσης έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας οξείδια όπως ZnO και $ZnSnO_3$ ή πολυμερή όπως PVDF και P(VDF-TrFE). Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες τάσης είναι συνήθως αυτοτροφοδοτούμενοι, επομένως δεν χρειάζονται πρόσθετη μπαταρία ή παροχή ρεύματος. Ωστόσο, οι μηχανικές ιδιότητες των πιεζοηλεκτρικών υλικών περιορίζουν την εφαρμογή τέτοιων αισθητήρων σε wearable ηλεκτρονικά, τα οποία απαιτούν ελαστικότητα, οπότε εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν [2,9].

3.2 Χημικοί αισθητήρες

Wearable αισθητήρες ικανοί να ανιχνεύσουν διάφορα σήματα έχουν προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον εξαιτίας της δυνατότητας χρησιμοποίησης τους σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Τα χημικά σήματα από περιβαλλοντικούς ρύπους σχετίζονται στενά με τα χημικά σήματα του ανθρώπινου σώματος και ως εκ τούτου υπάρχει σημαντική προσδοκία ότι θα έχουν τελικά ένα μεγάλο μερίδιο της αγοράς φορητών αισθητήρων. Αυτή τη στιγμή, οι ιατρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις προκαλούν πόνο και ταλαιπωρία στους ασθενείς. Εκτός αυτού σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται 24ωρη παρακολούθηση του ασθενούς με αποτέλεσμα οι καθημερινές του δραστηριότητες να περιορίζονται. Επομένως, καθίσταται σαφές για ποιο λόγο η έρευνα σχετικά με τους χημικούς αισθητήρες αποτελεί υψηλή προτεραιότητα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Στη συνέχεια μελετώνται οι βασικές αρχές λειτουργίας των αισθητήρων αερίου, των αισθητήρων ιόντων και των βιοαισθητήρων.

- Αισθητήρες αερίου

Η ανάγκη για αισθητήρες με δυνατότητα ανίχνευσης μορίων διαφόρων αερίων έχει γίνει επιτακτική με την αύξηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος και την απειλή χρήσης βιοχημικών όπλων. Η ανάπτυξη τους μπορεί να βοηθήσει στην προστασία της υγείας των ανθρώπων παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την παρουσία επικίνδυνων αερίων σε συγκεκριμένες περιοχές. Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί ανίχνευσης μορίων αερίου. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο μηχανισμό αντίστασης, τις ηλεκτροχημικές διεργασίες και τη χρωματομετρική μέθοδο.

Η λειτουργία των αισθητήρων τύπου αντίστασης βασίζεται στην διαφορά της ηλεκτρικής αντίστασης των διαφόρων υλικών. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι οξείδια μετάλλων, αγώγιμα πολυμερή ή το γραφένιο. Ωστόσο, ακόμη και το γραφένιο που διαθέτει σημαντικά χαρακτηριστικά που καθιστούν τη χρήση του στην κατασκευή αισθητήρων αερίων εκτεταμένη, έχει και προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν για την σωστή ανίχνευση αερίων.

Ο ηλεκτροχημικός αισθητήρας αερίου λειτουργεί σε πρώτη φάση αντιδρώντας με τα μόρια του αερίου και στη συνέχεια δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό σήμα. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια τα οποία διαχωρίζει ένας ηλεκτρολύτης. Το προς ανίχνευση αέριο διαχέεται στον αισθητήρα και μέσω μιας πορώδους μεμβράνης περνάει στα ηλεκτρόδια, μεταξύ των οποία δημιουργείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες αερίου είναι από τις πιο ελπιδοφόρες προσεγγίσεις για φορητές συσκευές λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, του χαμηλού κόστους, της υψηλής ευαισθησίας και της υψηλής

επιλεκτικότητας. Επίσης η λειτουργία τους γίνεται πολύ εύκολη με τη χρήση ενός μικροτσίπ. Στα αρνητικά, η χρήση ηλεκτρολυτών μειώνει τη διάρκεια ζωής τους. Γίνεται βέβαια προσπάθεια από πολλούς ερευνητές να ξεπεράσουν αυτό το εμπόδιο [10].

Οι χρωματομετρικοί αισθητήρες αερίων παράγουν ένα οπτικά αναγνωρίσιμο αποτέλεσμα και έτσι ξεπερνούν ορισμένα από τα μειονεκτήματα των αισθητήρων που προαναφέρθηκαν τα οποία προκύπτουν εξαιτίας ηλεκτρικών πηγών ενέργειας, οθόνων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Το PDA (πολυδιακετιλένιο) είναι ένα συνηθισμένο πολυμερές για χρωματομετρικούς αισθητήρες, διαθέτει πρωτοποριακές ιδιότητες ενώ παρουσιάζει μεταβολή στο φθορισμό ως απόκριση σε εξωτερικούς ερεθισμούς όπως θερμοκρασία, pH, χημική καταπόνηση [2].

- Αισθητήρες ιόντων

Η συνεχής παρακολούθησης της φυσιολογικής κατάστασης του ατόμου όπως έχει τονιστεί βοηθάει στην έγκαιρη ανίχνευση ασθενειών. Οι ανισορροπίες ηλεκτρολυτών μπορεί να είναι ενδεικτικές πιθανών προβλημάτων υγείας. Η παρακολούθηση τους όπως H^+,Na^+,K^+,Ca^{2+},Fe^{3+},NH_4^+ μπορεί να αποδειχθεί πολύ σημαντικη στη διαγνωση ασθενειών. Η ανίχνευση τους γίνεται με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες που αναλόγως με τη μέθοδο που χρησιμοποιούν χωρίζονται σε ποτενσιομετρικούς, αμπερομετρικούς και βολτομετρικούς.

Οι ποτενσιομετρικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις άλλες δύο κατηγορίες κυρίως εξαιτίας της απλότητας τους, του συγκριτικά χαμηλότερου κόστους και της εξοικίωσης των ανθρώπων με αυτούς. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια. Το ένα είναι το ηλεκτρόδιο αναφοράς και διατηρεί σταθερό δυναμικό και το δυναμικό του άλλου καθορίζεται από το περιβάλλον. Έτσι η τιμή της διαφοράς δυναμικού σχετίζεται με τη συγκέντρωση ιόντων.

Τόσο στις συσκευές που εφαρμόζουν την αμπερομετρική όσο και σε αυτές που εφαρμόζουν τη βολτμετρική μέθοδο μέτρησης ο βασικός λειτουργικός μηχανισμός είναι η μεταφορά ηλεκτρονίων. Στην πρώτη μέθοδο καταγράφεται η ροή του ρεύματος στο κύτταρο σε ένα δεδομένο εφαρμοζόμενο δυναμικό, ενώ η δεύτερη μέθοδος εκμεταλεύεται τη διαφορά δυναμικού στο εσωτερικό του κυττάρου. Όταν το δυναμικό μεταβαίνει από μια καθορισμένη τιμή σε μια άλλη, το ρεύμα στο κύτταρο σχεδιάζεται ως συνάρτηση του εφαρμοζόμενου δυναμικού [2].

- Βιοαισθητήρες

Οι βιοαισθητήρες είναι συσκευές που με την εκτέλεση φυσικοχημικών μετρήσεων επιτυγχάνουν την ανίχνευση βιολογικών ουσιών όπως η γλυκόζη, το γαλακτικό, το DNA και τα αντισώματα. Δεδομένου ότι οι βιολογικές αναλύσεις αντικατοπτρίζουν την υγεία των ανθρώπων, οι βιοαισθητήρες χρησιμοποιούνται για

τη θεραπεία ασθενών και την παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Αναπτύσσοντας wearable βιοαισθητήρες επιτυγχάνεται συνεχής και μη επεμβατική παρακολούθηση των στοιχείων μελέτης. Οι wearable βιοαισθητήρες ως μεθόδους ανίχνευσης χρησιμοποιούν ηλεκτροχημική, ηλεκτροχημική βασισμένη σε field-effect transistor (FET) και οπτική μέθοδο [11].

Οι ηλεκτροχημικοί βιοαισθητήρες είναι συμβατικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των βιολογικών ουσιών, μετατρέποντας άμεσα ένα βιολογικό συμβάν σε ένα ηλεκτρονικό σήμα. Αυτοί οι αισθητήρες αποτελούνται από ηλεκτρόδια, τα οποία είναι οι ηλεκτροχημικοί μετατροπείς και βιοαντιδραστικά υλικά. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των βιοαντιδραστικών υλικών στα ηλεκτρόδια του αισθητήρα και της βιολογικής ουσίας προκαλεί αλλαγές στις τιμές του ρεύματος και του δυναμικού και γίνεται καταγραφή αυτών των μετρήσεων. Έχουν μελετηθεί αρκετές κατασκευαστικές μέθοδοι για να εφαρμοστούν αυτοί οι αισθητήρες σε wearables. Παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη ενός ηλεκτροχημικού βιοαισθητήρα που αποτελείται από ηλεκτρόδια που μεταφέρονται σε μη επίπεδες επιφάνειες με χρήση σφραγίδας. Ο αισθητήρας αυτός εφαρμοσμένος στο δέρμα μπορεί να ανιχνεύσει τη συγκέντρωση ουρικού οξέος. Επίσης έχουν αναπτυχθεί βιοαισθητήρες που μπορούν να συνδεθούν με το δέρμα με τη μορφή τατουάζ.

Τα τελευταία χρόνια, οι ηλεκτροχημικοί βιοαισθητήρες βασισμένοι στο field-effect transistor (FET) έχουν αποδειχθεί ότι είναι κατάλληλοι για την ανίχνευση βιομορίων. Η αρχή λειτουργίας αυτών των βιοαισθητήρων είναι παρόμοια με αυτή ενός ηλεκτροχημικού αισθητήρα, εκτός από το ότι αυτοί οι βιοαισθητήρες χρησιμοποιούν διαφορετικό στρώμα αναγνώρισης στο οποίο το βιο-υλικό ακινητοποιείται και χρησιμοποιείται ως μετατροπέας.

Εκτός από τους τύπους που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν επίσης οπτικοί βιοαισθητήρες που βασίζονται στη μέτρηση των αλλαγών στην ένταση του φωτός και στη μετατροπή των φωτεινών σημάτων σε ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να καταγραφούν με τη μορφή ρευμάτων ή δυναμικών [2].

3.3 Πολλαπλοί αισθητήρες

Με την ανάπτυξη wearable αισθητήρων με εξαιρετική ευελιξία και ελαστικότητα, έχει καταστεί δυνατό να ανιχνευθούν διάφορα σήματα, όπως η θερμοκρασία, η τάση και η παρουσία ιόντων. Περαιτέρω έρευνες έχουν οδηγήσει στην κατασκευή πολλαπλών αισθητήρων οι οποίοι είναι σε θέση να αποκτούν και να αναλύουν ταυτόχρονα περισσότερες πληροφορίες και σήματα από το φυσικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας διάφορους μεμονωμένους αισθητήρες. Έτσι, παραδείγματος χάριν είναι δυνατόν να μετρηθουν ταυτόχρονα η θερμοκρασία του ατόμου κατά τη διάρκεια της άσκησης καθώς και λεπτομέρειες που μπορούν να εξαχθούν από τον ιδρώτα [12].

3.4 Ασύρματοι αισθητήρες

Ασύρματα συστήματα εφαρμόζονται σε wearable αισθητήρες για την ασύρματη λειτουργία των συσκευών και για επικοινωνία με τους εξωτερικούς ανιχνευτές. Για να επιτευχθεί ασύρματη λειτουργία έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες με συντονισμένες κεραίες ενσωματωμένες σε RLC κυκλώματα. Η συντονισμένη κεραία είναι ραδιενεργό στοιχείο και χρησιμοποιείται σε πολλές πρακτικές εφαρμογές. Η συχνότητα συντονισμού επιτρέπει την ακύρωση της χωρητικής και επαγωγικής συμπεριφοράς και παρέχει ασύρματα τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας. Η συχνοτητα της κεραίας καθορίζεται από τις φυσικές ιδιότητες του επαγωγέα και της χωρητικότητας. Συνεπώς αλλαγές των παθητικών συνιστωσών του κυκλώματος προκαλούν μεταβολή της συχνότητας συντονισμού [13,14].

Στις εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας δεδομένα μεταφέρονται ασύρματα σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή. Η μεταφορά των δεδομένων είναι μια διαδικασία δύο βημάτων [15]. Το πρώτο βήμα είναι η επικοινωνία μικρής εμβέλειας, όπου ο αισθητήρας μεταδίδει τα σήματα σε κοντινούς κόμβου όπως ένα smartphone, ένας υπολογιστής ή ένα PDA. Στο δεύτερο βήμα οι πληροφορίες που συλλέγονται μεταδίδονται στον απομακρυσμένο διακομιστή μέσω του διαδυκτίου ή ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Κατά τη διάρκεια του πρώτου βήματος οι αισθητήρες μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα για παρατεταμένο χρονικό διάστημα μέσω ενσύρματου ή ασύρματου μέσο. Η ενσύρματη σύνδεση δεν ενδείκνυται διότι μπορεί να επηρεάσει την κινητικότητα του χρήστη ή να οδηγήσει σε αποτυχημένη σύνδεση με τη συσκευή. Έτσι προτιμάται η ενσωμάτωση φορητού αισθητήρα με ασύρματη τεχνολογία σε συνδυασμό με τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων όπως Bluetooth, ZigBee και NFC [2].

3.5 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

[1] A. Nag and S. C. Mukhopadhyay, “Wearable flexible sensors: fabrication and characterization,” in Wearable Sensors : Applications, design and implementation, Subhas Chandra, Mukhopadhyay, Tarikul Islam, Ed. Maquarie University, Sydney, Australia, December 2017, pp 2-27.

[2] Byeong Wan An, Jung Hwal Shin, So-Yun Kim, Joohee Kim, Sangyoom Ji, Jihun Park, Youngjin Lee, Jiuk Jang, Young-Geun Park, Eunjin Cho, Subin Jo and Jang-Ung Park, “Smart Sensor Systems for Wearable Electronic Devices,” in Polymers, Vol. 9, Issue 8, August 2017.

[3] Ruya Li, Baoqing Nie, Philip Digiglio, Tingrui Pan, “Microflotronics: A Flexible, Transparent, Pressure-Sensitive Microfluidic Film,” in Advanced Functional Materials, October 2014.

[4] Kenry, Joo Chuan Yeo and Chwee Teck Lim, “Emerging flexible and wearable physical sensing platforms for healthcare and biomedical applications,” in Microsystems & Nanoengineering, September 2016. Available DOI: 10.1038/micronano.2016.43

[5] Mukhopadhyay, “Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review,” in IEEE Sensors, Volume 15, Issue 3, pp 1321-1330, March 2015. Available DOI: 10.1109/JSEN.2014.2370945

[6] Stoppa M, Chiolerio A, “Wearable Electronics and Smart Terxtiles: A critical Review,” in Sensors, Volume 14, Issue 7, July 2014. Available internet address: https://doi.org/10.3390/s140711957

[7] Kim J, Lee M, Jeon S, Kim M, Kim S, Kim K, Bien F, Hong S, ParkJ, “Highly Transparent and Stretchable Field-Effect Transistor Sensors using Graphene-Nanowire Hybrid Nanostructure,” in Advanced Materials, Volume 27, Issue 21, April 2015. Available DOI: 10.1002/adma.201500710

[8] Daglevinen C, Yewang S, Pauline J, Raissa Y, Yuhao L, Yun-Sung K, Yong An H, Anoop R, Jing X, Lane W, Yonggang H, Rogers J, “ Conformable amplified lead zirconate titanate sensors with enhanced piezoelectric response for cutaneous pressure monitoring,” in Nature Communications, Volume 5, Article Number 4496, August 2014.

[9] Zhong J, Zhong Q, Quyi H, Wu N, Wang B, Li W, Hu B, Zhou J, “ Stretchable Self-Powered Fiber based Strain Sensor,” in Advanced Functional Materials, Volume 25, Issue 12, February 2015. Available DOI: 10.1002/adfm.201404087

[10] Leven P, Gong, P, Levicky R, Shepard K, “Active CMOS Sensor Array for Electrochemical Biomolecular Detection” in IEEE Journal of Solid-State Circuits,

Volume 4, Issue 8, pp 1859-1871, September 2008. Available DOI: 10.1109/JSSC.2008.925407

[11] Kudo H, Sawada T, Kazawa E, Yoshida H, Iwasaki Y, Mitsubayashi K, " A flexible and wearable glucose sensor based on functional polymers with soft-MEMS techniques," in Biosensors & Bioelectronics, Volume 22, Issue 4, pp 558-562, November 2006.

[12] Gao W, Emaminejad S, Nyein H, Challa S, Chen K, Peck A, Fahad H, Ota H, Shiraki H, Kiriya D, Lien D, Brooks G, Davis R, Javey A, " Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis." In Nature, Volume 529, Issue 7587, pp 509-514, January 2016.

[13] Mei H, IrazoQui P, " Miniaturizing wireless implants," in Nature Biotechnology, Volume 32, Issue 10, pp 1008-1010, October 2014.

[14] Chen L, Tee B, Chortos A, Schwartz G, Tse V, Lipomi D, Wong H, McConnell M, Bao Z, " Continuous wireless pressure monitoring and mapping with ultra-small passive sensors for health monitoring and critical care," in Nature Communications, Volume 5, Article Number 5028, October 2014.

[15] Majumber S, Mandal T, Deen M, "Wearable sensors for Remote Health Monitoring," in Sensors, Volume 17, Issue 1, January 2017.

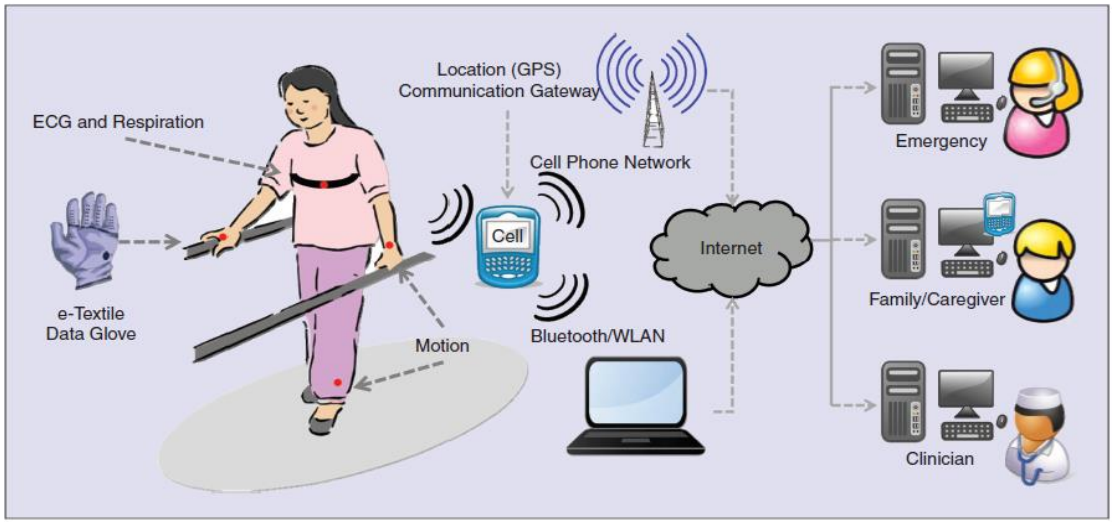
4. Τα wearables στον τομέα της υγείας

Τα τελευταία χρόνια ο μέσος όρος ζωής του ανθρώπινου πληθυσμού έχει αυξηθεί και οι συσκευές παρακολούθησης της υγείας βρίσκονται στο επίκεντρο της προσοχής επειδή βελτιώνουν την ποιότητα και βοηθούν στην αύξηση του προσδόκιμου ζωής των ανθρώπων. Η παρακολούθηση της υγείας συνεπάγεται και φροντίδα για την ευημερία του ανθρώπου, η οποία περιλαμβάνει έγκαιρη διάγνωση ασθενειών, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των επιπτώσεων της θεραπείας και γενική παρακολούθηση των συνθηκών υγείας των ανθρώπων. Ως αποτέλεσμα, οι wearable ηλεκτρονικές συσκευές λαμβάνουν μεγαλύτερη προσοχή λόγω της εύκολης αλληλεπίδρασης τους με το ανθρώπινο σώμα αλλά και της δυνατότητας παρακολούθησης των καρδιακών παλμών, της κίνησης, της πίεσης του αίματος, της ενδοφθάλμιας πίεσης και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με την υγεία. Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα παρακολούθησης της υγείας (π.χ. μετρητές πίεσης αίματος), τα wearables είναι φορητές συσκευές και παρέχουν σε πραγματικό χρόνο, συνεχή καταγεγραμμένα δεδομένα που σχετίζονται με σύνθετες συνθήκες υγείας εγκαίρως. Αυτά τα χαρακτηριστικά των wearables μπορούν να βελτιώσουν τη συμμόρφωση των χρηστών ή των ασθενών με ιατρικές οδηγίες και χρονοδιαγράμματα φαρμακευτικής αγωγής. Δεδομένου ότι τα wearables είναι ασύρματες συσκευές, οι πληροφορίες που συγκεντρώνουν μπορούν να αποστέλλονται σε έναν κεντρικό κόμβο, όπως ένα κινητό τηλέφωνο ή μια κάρτα μικροελεγκτή που μπορεί να μεταδώσει τις πληροφορίες σε ένα ιατρικό κέντρο και να τις εμφανίσει σε μια οθόνη [1].

Το ενδιαφέρον για wearable συστήματα προέρχεται από την ανάγκη παρακολούθησης ασθενών σε εκτεταμένες χρονικές περιόδους. Είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις όπου οι γιατροί θέλουν να παρακολουθήσουν άτομα των οποίων η πάθηση περιλαμβάνει τον κίνδυνο ξαφνικών οξέων συμβάντων ή ατόμα για τα οποία οι παρεμβάσεις πρέπει να αξιολογηθούν στο σπίτι και στο εξωτερικό περιβάλλον. Στις περιπτώσεις που αρκούν οι παρατηρήσεις μιας ή δύο ημερών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα περιπατητή για τη συλλογή φυσιολογικών δεδομένων. Ένα προφανές παράδειγμα είναι η χρήση περιπατητικών συστημάτων παρακολούθησης ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ΗΚΓ), η οποία αποτελεί μέρος της συνήθους αξιολόγησης των καρδιαγγειακών ασθενών για σχεδόν τρεις δεκαετίες. Ωστόσο, τα περιπατητικά συστήματα δεν είναι κατάλληλα όταν η παρακολούθηση πρέπει να πραγματοποιηθεί για μεγαλύτερες περιόδους, πιθανόν αρκετές εβδομάδες ή μήνες, όπως είναι επιθυμητό σε πολλές κλινικές εφαρμογές. Τα wearable συστήματα είναι μη ενοχλητικές προς το χρήστη συσκευές που επιτρέπουν στους γιατρούς να ξεπεράσουν τους περιορισμούς της περιπατητικής τεχνολογίας και να ανταποκριθούν στην ανάγκη παρακολούθησης ατόμων για εβδομάδες ή και μήνες. Συνήθως βασίζονται σε ασύρματους μικροσκοπικούς αισθητήρες που περικλείονται σε έμπλαστρα, επίδεσμους ή σε αντικείμενα που μπορούν να φορεθούν, όπως ένα δαχτυλίδι ή ένα πουκάμισο. Τα φυσιολογικά δεδομένα που

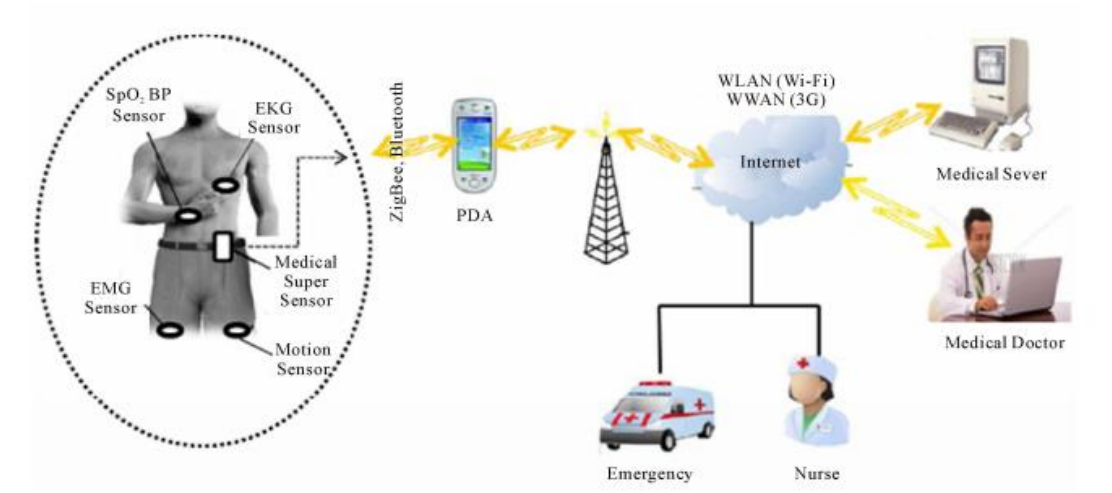
συλλέγονται αποθηκεύονται προσωρινα στη συσκευή και στη συνέχεια μεταφέρονται περιοδικά σε βάσεις δεδομένων μέσω σύνδεσης στο Internet. Τα σύνολα δεδομένων που καταγράφονται με τη χρήση αυτών των συστημάτων στη συνέχεια επεξεργάζονται για να ανιχνεύσουν προγνωστικά πιθανής επιδείνωσης της κλινικής κατάστασης του ασθενούς ή διερευνώνται για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των κλινικών παρεμβάσεων.

Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει αναφορά στον αισθητήρα μορφής δαχτυλιδιού, ο οποίος είναι πιθανόν το πιο γνωστό έργο στον τομέα των wearables. Αποτελεί αποτέλεσμα πολλών ετών εργασίας και πρόκειται για έναν αισθητήρα παλμικής οξυμετρίας που επιτρέπει σε κάποιον να παρακολουθεί συνεχώς τον καρδιακό ρυθμό και το ποσοστό οξυγόνου στο αίμα με έναν εντελώς διακριτικό τρόπο. Η συσκευή έχει μορφή δαχτυλιδιού και έτσι μπορεί να φορεθεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να ενοχλεί το άτομο. Ο αισθητήρας είναι εξοπλισμένος με πομποδέκτη χαμηλής κατανάλωσης, πραγματοποιεί αμφίδρομη επικοινωνία με έναν σταθμό βάσης, επιτρέποντας έτσι σε κάποιον να ρυθμίσει εκ νέου τον αισθητήρα όταν είναι απαραίτητο και να φορτώνει δεδομένα ανά πάσα στιγμή [2].



Εικόνα 4.1. Παράδειγμα wearable συστήματος [3].

Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.1) απεικονίζεται σχηματικά ένα σύστημα για την παρακολούθηση στο οικιακό και κοινωνικό περιβάλλον. Εμφανίζεται ένα άτομο κατά την άσκηση στο γυμναστήριο. Η εκτέλεση και απόδοση της άσκησης καθώς και οι σχετικές φυσιολογικές αποκρίσεις (π.χ. ο καρδιακός ρυθμός και ο ρυθμός αναπνοής) παρακολουθούνται μεσω αισθητήρων φορεμένων σε διάφορα σημεία του σώματος του αθλούμενου. Ένα κινητό τηλέφωνο καταγράφει τα δεδομένα και ταυτόχρονα λειτουργεί σαν πύλη για επικοινωνία με απομακρυσμένη τοποθεσία μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας ή Internet [3].



Εικόνα 4.2. Αρχιτεκτονική συστήματος αισθητήρων για απομακρυσμένο σύστημα παρακολούθησης υγειονομικής περιθαλψης [4].

Ο πυρήνας του συστήματος που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2 είναι ο χρήστης, που ονομάζεται ασθενής. Wearable αισθητήρες τοποθετούνται στο σώμα του ασθενούς σχηματίζοντας ένα ασύρματο δίκτυο (WBAN - wireless body area network), το οποίο παρακολουθεί τις αλλαγές σε ζωτικής σημασίας σήματα και παρέχει πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο ώστε να διατηρείται η βέλτιστη κατάσταση της υγείας. Οι ιατρικοί αισθητήρες αποτελούνται συνήθως από πέντε βασικά στοιχεία. Το πρώτο είναι το τσιπ του αισθητήρα για την ανίχνευση φυσιολογικών δεδομένων από το ανθρώπινο σώμα. Το δεύτερο είναι ο μικροεπεξεργαστής ο οποίος χρησιμοποιείται για τοπική επεξεργασία όπως η συμπίεση δεδομένων και επίσης ελέγχει τη λειτουργικότητα άλλων εξαρτημάτων. Η μνήμη αποτελεί ένα ακόμη στοιχείο και χρησιμεύει για προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων ανίχνευσης. Άλλο ένα στοιχείο είναι ο πομποδέκτης, υπεύθυνος τόσο για την επικοινωνία μεταξύ κόμβων οσο και για αποστολή και λήψη φυσιολογικών δεδομένων ασύρματα και τελευταίο στοιχείο είναι η τροφοδοσία η οποία γίνεται από μπαταρίες με διάρκεια ζωής αρκετών μηνών.

Στο σύστημα ενσωματώνεται ένας υπερ-αισθητήρας με αυξημένες δυνατότητες μνήμης, επεξεργασίας και επικοινωνίας. Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες για να επικοινωνήσει με τους άλλους αισθητήρες και τεχνολογία Bluetooth ή ZigBee για επικοινωνία με έναν προσωπικό διακομιστή. Επομένως, τα διάφορα φυσιολογικά σήματα συλλέγονται στον προσωπικό διακομιστή, επεξεργάζονται και προωθούνται μέσω του ιντερνετ σε έναν ιατρικό διακομιστή [4].

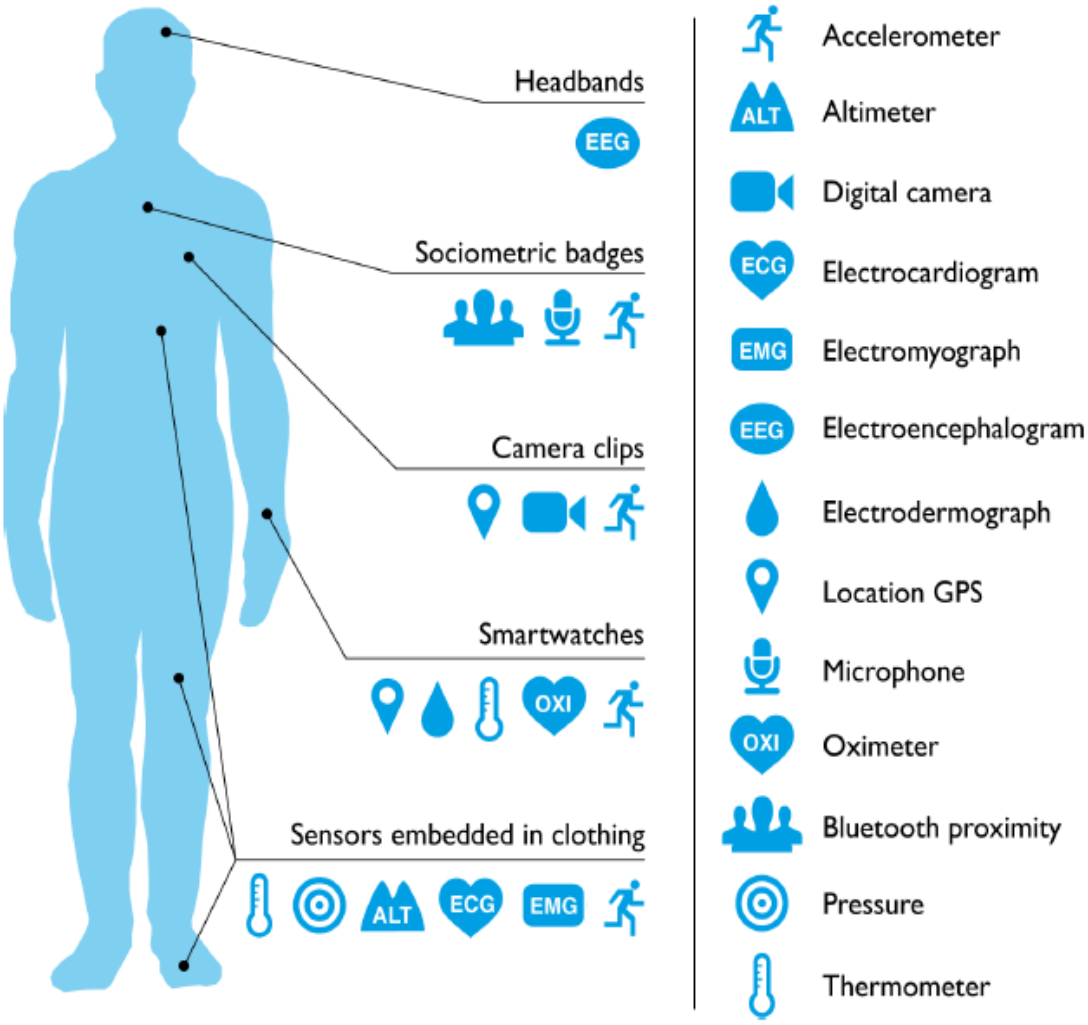
Για την παρακολούθηση υγείας, ένα έξυπνο wearable σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συσκευών οι οποίες είτε φοριούνται είτε εμφυτεύονται. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι αισθητήρες, ενεργοποιητές, έξυπνα υφάσματα, τροφοδοτικά, ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας (wireless communication networks), μονάδες επεξεργασίας, συσκευές πολυμέσων, διεπαφές χρηστών,

λογισμικό, αλγόριθμοι για συλλογή δεδομένων, επεξεργασία και υποστήριξη αποφάσεων. Ένα τέτοιο σύστημα είναι σε θέση να μετρήσει τη θερμοκρασία του σώματος και του δέρματος, τον καρδιακό ρυθμό, την αρτηριακή πίεση, τον κορεσμό οξυγόνου στο αίμα, το ρυθμό αναπνοής, να καταγράψει το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) και ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) κ.α. Οι μετρήσεις προωθούνται μέσω ασύρματου δικτύου (WSN – Wireless Sensor Network) είτε σε κεντρικό κόμβο σύνδεσης, όπως προσωπικό ψηφιακό βοηθό (PDA – Personal Digital Assistant), είτε απευθείας σε ιατρικό κέντρο. Ωστόσο, η ασύρματη σύνδεση αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας του ασθενούς ή του χρήστη, καθώς μπορεί να προσεγγιστεί από τρίτους ή από χάκερ χρησιμοποιώντας διάφορα είδη επιθέσεων. Τα δεδομένα μπορούν να προστατεύονται με τη χρήση κρυπτογραφικών εργαλείων που προστατεύουν το ασύρματο κανάλι [9]. Ένας ιατρός μπορεί στη συνέχεια να ελέγξει ή/και να διαχειριστεί τον ασθενή με βάση τα διαβιβαζόμενα δεδομένα. Ένας ολοένα και πιο σημαντικός τύπος wearable συστήματος είναι μια έξυπνη ιατρική συσκευή παρακολούθησης, ικανή να παρέχει σε πραγματικό χρόνο επεξεργασία και ανάδραση σε ιατρικό προσωπικό, ασθενείς, αθλητές και υγιή άτομα. Ένας ασθενής μπορεί να φορέσει τη συσκευή κατά τη διάρκεια της κανονικής καθημερινής ζωής, ενώ οι γιατροί τον παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ό, τι είναι δυνατό κατά τη διάρκεια της παραμονής ή μιας επίσκεψης στο νοσοκομείο. Το σύστημα μπορεί να παρέχει ακόμη και ειδοποιήσεις σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, όταν ένα άτομο που ζει μόνο του υποφέρει από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο, μπορεί να σταλεί ένα ασθενοφόρο μόλις αυτό εμφανιστεί. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για την πλήρη εφαρμογή της χρήσης έξυπνων wearable συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων του υψηλού κόστους, περιορισμών μεγέθους και βάρους, κατανάλωσης ενέργειας, εφαρμογής αισθητήρων και συνδετικότητας, δεοντολογίας, νόμων, ιδιωτικότητας, ελευθερίας, αυτονομίας, αξιοπιστίας , θέματα ασφάλειας και εξυπηρέτησης.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.3) παρουσιάζονται τα σημεία εφαρμογής των διάφορων wearable αισθητήρων και τι μπορούν να μετρήσουν. Ο καρδιακός ρυθμός μπορεί να μετρηθεί με ένα οξύμετρο ενσωματωμένο σε δακτυλίδι όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα. Η μυϊκή δραστηριότητα με έναν ηλεκτρομυογραφικό αισθητήρα ενσωματωμένο σε ρούχα. Το στρες με ηλεκτροδερμικό αισθητήρα που ενσωματώνεται σε ένα βραχιολάκι. Η φυσική δραστηριότητα και ο ύπνος μέσω επιταχυνσιόμετρου σε ρολόι. Η πιο γόνιμη περίοδος μιας γυναίκας μπορεί να αναγνωριστεί με λεπτομερή παρακολούθηση της θερμοκρασίας του σώματος. Τα επίπεδα ψυχικής ηρεμίας μπορούν να παρακολουθούνται με ένα μικρό αριθμό ηλεκτροδίων με ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG). Τα επίπεδα κοινωνικής αλληλεπίδρασης, η οποία έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει τη γενική ευημερία, μπορούν να παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας ανιχνεύσεις εγγύτητας σε άλλους με συσκευές με δυνατότητα Bluetooth ή Wi-Fi.

Προκύπτει, λοιπόν, ότι τα wearables μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένη, άμεση και προσανατολισμένη στο στόχο πληροφόρηση βασισμένες σε συγκεκριμένα

δεδομένα παρακολούθησης που λαμβάνονται μέσω αισθητήρων και παρέχουν μακροχρόνια λειτουργικότητα χωρίς να απαιτείται συνεχής επαναφόρτιση. Η μορφή και το μέγεθός τους καθιστά δυνατόν να φοριούνται συνεχώς. Ενώ ακόμη απαιτείται επεξεργασία των εισερχόμενων δεδομένων είναι σχεδόν βέβαιο ότι στο άμεσο μέλλον όλες οι λειτουργίες επεξεργασίας θα είναι αυτοδύναμες [5].



Εικόνα 4.3. Φορητοί αισθητήρες και σημεία εφαρμογής [5].

4.1 Ζωτικά σήματα

Με τον όρο ζωτικά σήματα αναφερόμαστε στα πιο σημαντικά σήματα που υποδεικνύουν την κατάσταση των ζωτικών λειτουργιών του σώματος. Ως εκ τούτου είναι άμεσα συνδεδεμένα με την διατήρηση της ζωής. Τα ζωτικά σήματα παρακολουθούνται για να βοηθήσουν στην αξιολόγηση της γενικής σωματικής υγείας ενός ατόμου, να παράσχουν ενδείξεις για πιθανές ασθένειες ή να δείξουν την πρόοδο σε περίπτωση αποκατάστασης[6]. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.1) παρουσιάζεται ένας κατάλογος ζωτικών παραμέτρων που αξιολογούνται με χρήση φορητών συστημάτων. Αναφέρεται επίσης ο τύπος του αισθητήρα που χρησιμοποιείται και η πηγή του σήματος. Στη συνέχεια, αναλύονται τα τέσσερα βασικότερα ζωτικά σήματα που παρακολουθούνται τακτικά από τους επαγγελματίες στο χώρο της ιατρικής είναι η θεμοκρασία του σώματος, ο καρδιακός ρυθμός, ο ρυθμός της αναπνοής και η αρτηριακή πίεση.

Τύπος σήματος	**Τύπος αισθητήρα**	**Πηγή σήματος**
Ηλεκτρομυογράφημα (EMG)	Ηλεκτρόδια δέρματος	Ηλεκτρική δραστηριότητα μυός
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)	Ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κρανίο	Ηλεκτρική δραστηριότητα του μυαλού
Δραστηριότητα,Κινητικότητα	Επιταχυνσιόμετρο	Στάση σώματος, κινήσεις
Ρυθμός αναπνοής	Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας	Εισπνοές και εκπνοές ανα μονάδα χρόνου
Ήχοι καρδιάς	Φωνόγραφος	Καταγραφή των ήχων της καρδιάς με μικρόφωνο
Γλυκόζη του αίματος	Μετρητής γλυκόζης	Εκτίμηση του ποσοστού γλυκόζης στο αίμα
Κορεσμός οξυγόνου	Παλμικό οξύμετρο	Αιμοσφαιρίνη στο αίμα
Θερμοκρασία σώματος ή δέρματος	Αισθητήρας θερμοκρασίας	Σώμα ή δέρμα
Γαλβανική απόκριση του δέρματος	Μεταλλικά ηλεκτρόδια	Ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος

Πίνακας 4.1. Κατάλογος ζωτικών παραμέτρων [8].

1. Θερμοκρασία σώματος

Η θερμοκρασία του σώματος παρέχει μια εικόνα για τη φυσιολογική κατάσταση ενός ατόμου. Η αυξημένη θερμοκρασία του σώματος αποτελεί ένδειξη μόλυνσης ή

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Vital_signs#Other_signs

πυρετού. Από την άλλη πλευρά, η χαμηλή θερμοκρασία του σώματος υποδηλώνει χαμηλή ροή αίματος λόγω κυκλοφορικού σοκ. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία του σώματος θεωρείται ως το πρώτο ζωτικό σημάδι. Κατά τη μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση της θέσης μέτρησης, επειδή η θερμοκρασία του σώματος ποικίλει ανάλογα με τη θέση μέτρησης. Για παράδειγμα, σε θερμοκρασία δωματίου (25 ° C), η κανονική θερμοκρασία του καρπού είναι περίπου 32 ° C ενώ η θερμοκρασία του σώματος είναι περίπου 37 ° C.

Σε wearable εφαρμογές, οι αισθητήρες θερμοκρασίας τοποθετούνται συνήθως στον βραχίονα ή στον θώρακα, επομένως οι καταγραφείσες θερμοκρασίες είναι μικρότερες από τη θερμοκρασία του σώματος. Η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας θερμίστορ, θερμοηλεκτρικές επιδράσεις ή μέσω οπτικών μέσων. Ωστόσο η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις wearable εφαρμογές στον τομέα της υγείας είναι το θερμίστορ. Η αντίσταση των θερμίστορ αλλάζει ανάλογα με τη θερμοκρασία [6]. Η γενική εξίσωση που διέπει ένα θερμίστορ είναι η ακόλουθη:

$$R_t=R_0 \exp\beta(1/T-1/T_0)$$

όπου: R_t η αντίσταση στη θερμοκρασία T

R_0 η αντίσταση σε θερμοκρασία αναφοράς T_0

β σταθερά του υλικού του θερμίστορ

2. Καρδιακός ρυθμός

Η βασική λειτουργία της ανθρώπινης καρδιάς είναι να αντλεί οξυγονωμένο αίμα και θρεπτικά συστατικά στο σώμα και να απομακρύνει διοξείδιο του άνθρακα και άλλα απόβλητα. Ως καρδιακος κύκλος αναφέρεται η διαδικασία η οποία ξεκινά με την είσοδο αποξυγονωμένου αίματος στην καρδιά και ολοκληρώνεται με την μεταφορά οξυγονωμένου αίματος σε όλο το σώμα. Οι καρδιακοί παλμοί ή σφυγμοί είναι η συχνότητα των καρδιακών κύκλων εκφραζόμενη σαν κτύποι ανά λεπτό (beats per minute bpm). Ο καρδιακός ρυθμός αλλάζει ανάλογα με τις ανάγκες του σώματος και είναι επιρρεπής σε αλλοίωση της φυσιολογικής κατάστασης του σώματος. Οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή στη σωματική ή πνευματική κατάσταση ενός ατόμου συνήθως αλλάζει τον παλμό. Ως εκ τούτου, ο καρδιακός ρυθμός χρησιμοποιείται ως ένα από τα ζωτικά σημάδια για την αξιολόγηση της σωματικής και ψυχικής κατάστασης ενός ατόμου.

Ο καρδιακός ρυθμός μπορεί να μετρηθεί με μη αυτόματο τρόπο από την ακτινική αρτηρία (radial artery) στον καρπό, από την καρωτιδική αρτηρία (carotid artery) στο λαιμό ή ακούγοντας απευθείας τον καρδιακό παλμό χρησιμοποιώντας

ένα στηθοσκόπιο. Για την ακριβέστερη μέτρηση του, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικοί αισθητήρες, οπτικοί αισθητήρες και αισθητήρες τάσης. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών μετρήσεων εφαρμόζεται η τεχνική του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Παρόλο που οι μετρήσεις ηλεκτροκαρδιογραφήματος συμβατικά γίνονται με τη χρήση 12 ακροδεκτών, το σήμα μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας δύο ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο στήθος. Αυτό επιτρέπει τη σχεδίαση wearable αισθητήρων, αν και η ένταση του σήματος μειώνεται όσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Δεδομένου ότι το αποτέλεσμα του ηλεκτροκαρδιογραφήματος είναι περιοδική κυματομορφή μπορούμε να υπολογίζουμε τον καρδιακό ρυθμό.

Η πληθυσμογραφία είναι μια άλλη ισχυρή μέθοδος μέτρησης του καρδιακού ρυθμο. Ένας πληθυσμογράφος είναι ένα όργανο μέτρησης των μεταβολών του όγκου μέσα σε ένα όργανο ή ολόκληρο το σώμα. Για την ανίχνευση του παλμού χρησιμοποιούνται οπτικοί αισθητήρες ή αισθητήρες πίεσης. Με κάθε κτύπο της καρδιάς, η καρδιά αντλεί οξυγονωμένο αίμα στο σώμα και τραβά πίσω το αποξυγονωμένο αίμα, προκαλώντας τη διαστολή των αρτηριών. Στη μέθοδο οπτικής ανίχνευσης, η οποία είναι γνωστή ως φωτοπληθυσμογραφία, χρησιμοποιείται μια δίοδος εκπομπής φωτός (LED) για την φωτισμό των αρτηριών και ανάλογα με τον όγκο του αίματος αλλάζουν οι μεταδιδόμενες ή ανακλώμενες εντάσεις φωτός μέσα από και από το δέρμα. Αυτό το σήμα αποκτάται στη συνέχεια με τη χρήση φωτοδιόδου. Στη φάση της συστολής της καρδιάς, όταν δηλαδή η καρδιά συστέλεται και στέλνει το αίμα στις αρτηρίες, η απορρόφηση του φωτός φτάνει τη μεγιστη τιμή της λόγω του υψηλού όγκου αίματος. Το διάστημα μεταξύ δύο συστολικών κορυφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του καρδιακού ρυθμού. Η ίδια αρχή ισχύει και για τους αισθητήρες πίεσης. Εδώ οι συστολικές κορυφές μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας αισθητήρα πίεσης τοποθετημένο στην ακτινική αρτηρία ή την καρωτιδική αρτηρία.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τεχνικές ανίχνευσης ο καρδιακός ρυθμός μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια. Η μέθοδος ανίχνευσης πρέπει να επιλέγεται ανάλογα με τη θέση ανίχνευσης. Για παράδειγμα, στο στήθος, τα ηλεκτρόδια ηλεκτροκαρδιογραφήματος θα πρέπει να επιλέγονται αντί του οπτικού αισθητήρα και του αισθητήρα πίεσης. Παρομοίως, στον καρπό, οι αισθητήρες οπτικού αισθητήρα ή πίεσης προτιμούνται έναντι του ηλεκτροκαρδιογραφήματος [6].

3. Ρυθμός αναπνοής

Ο ρυθμός αναπνοής είναι ένα σημαντικό ζωτικό σημάδι, διότι χωρίς επαρκή εισροή οξυγόνου και απομάκρυνση διοξειδίου του άνθρακα, ο ασθενής κινδυνεύει από θάνατο ή μόνιμη βλάβη. Επιπλέον, ο μη φυσιολογικός ρυθμός αναπνοής είναι σύμπτωμα πολλών διαταραχών όπως η άπνοια κατά τη διάρκεια του ύπνου, το άσθμα, η χρόνια πνευμονοπάθεια και η αναιμία. Για να μετρηθεί ο ρυθμός της αναπνοής, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται μπορούν να ανταποκριθούν με διάφορους τρόπους στη ροή της αναπνοής ή στη διαστολή και συστολή του θώρακα

και της κοιλιάς κατά την αναπνοή. Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι για τη μετατροπή της συστολής και διαστολής των πνευμόνων σε ηλεκτρικό σήμα. Στην πληθυσμογραφία, ηλεκτρόδια τοποθετούνται πάνω στο σώμα και η αλλαγή στην αντίσταση μεταξύ τους αντανακλά την αλλαγή στον όγκο του πνεύμονα κατά την εισπνοή και την εκπνοή. Ωστόσο, οι περισσότεροι wearable αισθητήρες ανίχνευσης της αναπνοής, χρησιμοποιούν αισθητήρια τάσης ή πίεσης για τη ανίχνευση της αλλαγής του όγκου των πνευμόνων. Σύμφωνα με το φαινόμενο Poisson όταν εφαρμόζεται τάση εφελκυσμού σε ένα υλικό, το μήκος του αυξάνεται κατά την κατεύθυνση της τάσης και μειώνεται κατά την κάθετη προς την τάση κατεύθυνση. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αγώγιμο υλικό, η αντίσταση που μετράται στην κατεύθυνση της τάσης αυξάνεται. Αντίθετα, σε ένα διηλεκτρικό αυξάνεται η χωρητικότητα που μετράται κάθετα στην εφαρμοζόμενη τάση. Για την ανίχνευση της ροής της αναπνοής μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες κοντά στη μύτη ή το στόμα που ανταποκρίνονται στις αλλαγές της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας, της πίεσης ή της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα κατά την αναπνοή. Μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν ακουστικοί αισθητήρες στο λαιμό. Αυτοί οι τύποι αισθητήρων είναι πιο ακριβείς και μπορούν να ανιχνεύσουν ευκολότερα ορισμένες συνθήκες από ότι οι αισθητήρες που τοποθετούνται στο θώρακα, παραδείγματος χάριν αναπνευστικές δυσλειτουργίες στις οποίες ο αέρας σταματά να ρέει στους πνεύμονες παρά την συνεχιζόμενη κίνηση του θώρακα. Εκτός αυτού, οι αισθητήρες τάσης στον κορμό τείνουν να αποκρίνονται σε περισσότερες κινήσεις σώματος εκτός από την αναπνοή, όπως το περπάτημα, η ομιλία και η κίνηση του βραχίονα, ενώ οι αισθητήρες στη μύτη και το λαιμό δεν είναι ευαίσθητοι σε τέτοιου είδους κινήσεις. Ωστόσο, οι αισθητήρες στη μύτη και το λαιμό είναι πιθανότερο να είναι πιο εμφανείς και λιγότερο άνετοι από εκείνους στον κορμό. Έτσι, σε περιπτώσεις γενικής παρακολούθησης της δραστηριότητας όπου δεν υπάρχει κίνδυνος αναπνευστικού προβλήματος, οι αισθητήρες τάσης είναι η προτιμώμενη επιλογή. Τα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν, μπορουν να μετριαστούν με την επεξεργασία σήματος και τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων σε διαφορετικές θέσεις όπως το στήθος και η κοιλιά [6].

4. Αρτηριακή πίεση

Η πίεση του αίματος είναι ένα από τα σημαντικότερα σημάδια στη γενική υγεία ενός ατόμου. Οι δύο πιο σημαντικοί αριθμοί στην αρτηριακή πίεση είναι τα μέγιστα (συστολική πίεση) και τα ελάχιστα (διαστολική πίεση). Μια τυπική συσκευή μέτρησης της αρτηριακής πίεσης είναι ένα σφυγμομανόμετρο, το οποίο αποτελείται από μια αντλία που συνδέεται με μια φουσκωτή μανσέτα που τυλίγεται συνήθως γύρω από τον βραχίονα και ένα μανόμετρο για τη μέτρηση της πίεσης. Η πίεση του μανικετιού αρχικά διογκώνεται πολύ πάνω από 200 mm Hg, διακόπτοντας την κυκλοφορία του αίματος στον βραχίονα, και στη συνέχεια μειώνεται η πίεση έως ότου αρχίσει το αίμα να εισχωρήσει στο αιμοφόρο αγγείο με την μέγιστη πίεση του παλμού, γνωστή ως συστολική πίεση. Περαιτέρω μείωση της πίεσης εως ότου

σταματήσει η ταραγμένη ροή αίματος είναι γνωστή ως η διαστολική πίεση, η χαμηλότερη πίεση του παλμού. Η αρτηριακή πίεση ενός υγιούς ατόμου είναι 120/80 (συστολική/διαστολική). Τιμές υψηλότερες από αυτή διαγνώσκονται ως υπέρταση. Ενώ η χρήση των σφυγμομανόμετρων έχει γίνει ρουτίνα κατά τη διάρκεια κλινικών επισκέψεων, τα συστήματα αυτά περιορίζονται από τη στατική τους εγκατάστασης, καθιστώντας δύσκολη τη συνεχή και μακροπρόθεσμη παρακολούθηση. Αυτό δημιουργεί πολλά κενά μέσω των οποίων ασυμπτωματικές καρδιακές παθήσεις μπορεί να μην έχουν ανιχνευθεί μέχρι να εμφανισθεί καρδιακή προσβολή ή εγκεφαλικό επεισόδιο. Η ανάπτυξη νέων υλικών οδήγησε στην κατασκευή εξαιρετικά ευαίσθητων αισθητήρων τάσης ικανών να μετρήσουν με ευκολία τις κυματομορφές πίεσης παλμού. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν τη μορφή πυκνωτών και χρησιμοποιούν ένα συμπιεσμένο διηλεκτρικό για να προκαλέσουν μεταβολή στην χωρητικότητα. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνικές αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID), οι οποίες όμως απαιτούν εμφύτευση της συσκευής κάτω από το δέρμα [6].

4.2 Ασθένειες, μειονεκτήματα ή αναπηρίες που μπορούν να παρακολουθούνται από έξυπνα φορητά συστήματα

- Καρδιαγγειακές παθήσεις

Οι παθήσεις της καρδιάς αποτελούν μια από τις κύριες αιτίες θανάτου παγκοσμίων σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Χαρακτηριστικά υποστηρίζεται ότι χάνονται 17,3 εκατομμύρια ζωές το χρόνο από γεγονότα όπως καρδιακή προσβολή και εγκεφαλικό επεισόδιο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης το γεγονός ότι οι μισοί από τους θανόντες, πεθαίνουν εντός μιας ώρας από την έναρξη των συμπτωμάτων και πριν φτάσουν στο νοσοκομείο. Στις καρδιακές παθήσεις περιλαμβάνονται ανωμαλίες όπως αρρυθμία, καρδιακή ανεπάρκεια, στεφανιαία νόσος, ταχυκαρδία, καρδιακή προσβολή, εγκεφαλικό επεισόδιο οι οποίες μπορούν να διαγνωσθούν με ανάλυση των αλλαγών στα μοτίβα του ηλεκτροκαρδιογραφήματος, που όπως έχει αναφερθει νωρίτερα μπορεί να παρακολουθείται από wearable συστήματα [4,8].

- Σακχαρώδης διαβήτης

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας περισσότεροι από 220 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως έχουν διαβήτη. Μερικές από τις επιπλοκές που οφείλονται στον διαβήτη είναι ακρωτηριασμοί, τύφλωση, νεφροπάθεια, αρτηριακή πίεση, καρδιακές παθήσεις. Ο σακχαρώδης διαβήτης είναι μια διαταραχη του μεταβολισμού της γλυκόζης. Παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον τόσο από ιατρική όσο και από οικονομική άποψη. Οι ασθενείς που πάσχουν από τη νόσο μπορούν να επωφεληθούν από τη συχνή ή και συνεχή παρακολούθηση της συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα έξυπνων wearable συστημάτων για να λάβουν τη σωστή ποσότητα ινσουλίνης για την πρόληψη επιπλοκών όπως υπογλυκαιμία [4,8].

- Αναπνευστικές ασθένειες

Οι ασθενείς που υποφέρουν από δύσπνοια, σύνδρομο άπνοιας κατά τη διάρκεια του ύπνου, χρόνια πνευμονοπάθεια ή άσθμα μπορούν να παρακολουθούνται για έγκαιρη ανίχνευση συμπτωμάτων και χορήγηση θεραπειών. Σύμφωνα με τους Kyu Jin Cho και H. Harry Asada έχει σχεδιαστεί φορητό στηθοσκόπιο, το οποίο είναι ασύρματο και χωρις μπαταρίες.[8] Το σύστημα αποτελείται από αισθητήρα και αναγνώστη που χρησιμοποιεί επαγωγική σύζευξη ως μέθοδο μετάδοσης των σημάτων. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στον αισθητήρα να είναι απαλλαγμένο από συρμάτινα καλώδια και μπαταρίες, καθιστώντας εύκολη τη σύνδεση με το δέρμα. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη ήχων του πνεύμονα είναι ηλεκτρικά μικρόφωνα και επιταχυνσιόμετρα. Η κεραία πομποδέκτη μπορεί να φορεθεί έξω από τα ρούχα και η μονάδα ανάγνωσης μπορεί να συνδεθεί

σε μια ζώνη. Έτσι η μακροχρόνια χρήση του συστήματος γίνεται λιγότερο ενοχλητική. Η συσκευή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αναπνευστικών ήχων, με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση ασθενών με άσθμα ή άλλες πνευμονικές ασθένειες [7,8].

- Καρκίνος

Ο καρκίνος είναι η κυριότερη αιτία θανάτου με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας να αναφέρει ότι είναι υπεύθυνος για το 13% των θανάτων που συνέβησαν το 2008 (περισσότεροι από 7,5 εκατομμύρια θάνατοι). Τα καρκινικά κύτταρα εκπέμπουν νιτρικό οξείδιο και ορισμένοι καρκινικοί όγκοι μπορούν να ανιχνευθούν μελετώντας τη ροή του αίματος στην περιοχή που περιβάλλει έναν όγκο χρησιμοποιώντας αισθητήρες τοποθετημένους σε βελόνα. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στους γιατρούς να διαγνώσουν όγκους χωρίς να κάνουν βιοψία [8].

- Νευρολογικές διαταραχές

Η επιληψία είναι μια νευρολογική διαταραχή που χαρακτηρίζεται από αυθόρμητες επιληπτικές κρίσεις. Περισσότερο από το ένα τρίτο των ασθενών λαμβάνει ανεπαρκή δοσολογία αντιεπιληπτικών φαρμάκων δια του στόματος και παρουσιάζει επιληπτικές κρίσεις ενώ βρίσκεται σε φαρμακευτική αγωγή. Νέες γενεές αντιεπιληπτικού φαρμάκου χορηγούνται απευθείας στο επίκεντρο κρίσης στον εγκέφαλο για να παράσχουν πιο αποτελεσματικές δόσεις ενώ παρακάμπτουν το υπόλοιπο του εγκεφάλου και του σώματος για να αποτρέψουν παρενέργειες. Οι συσκευές αυτές είναι εμφυτεύματα φορτωμένα με αντιεπιληπτικό φάρμακο για να επιτευψθεί βαθμιαία, συνεχής απελευθέρωση του φαρμάκου απευθείας στην περιοχή του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνη για τις επιληπτικές κρίσεις. Τέλος, οι εξελίξεις στη νανοτεχνολογία έχουν προσφέρει πολλά υποσχόμενες λύσεις για την αποτελεσματική, μη επεμβατική θεραπεία ασθενειών του κεντρικού νευρικού συστήματος [8].

- Αποκατάσταση

Η καταγραφή του τρόπου κίνησης και δραστηριότητας των μυών μπορεί να συσχετιστεί με ένα δεδομένο σύνολο λειτουργικών κινητικών εργασιών και μυϊκής διέγερσης. Στην περίπτωση αποκατάστασης μετά από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο, οι κινηματικές μεταβλητές του άνω άκρου μπορούν να αξιολογηθούν με τη χρήση συσκευής εξοπλισμένης με αισθητήρες. Οι ασθενείς επωφελούνται από την άνεση που παρέχεται από τη συσκευή επειδή δεν χρειάζονται μεταλλικά σύρματα για να συνδεθούν με το ηλεκτρονικό σύστημα απόκτησης δεδομένων. Δεν υπάρχουν άκαμπτοι στοιχεία στο σύστημα και οι κινήσεις είναι απεριόριστες [8].

- Νόσος Parkinson και παράλυση

Η νόσος Parkinson είναι μια νευροεκφυλιστική διαταραχή που προκαλεί ακαμψία, τρεμούλιασμα, βραδυκινησία και υποκινησία. Ένα ποσοτικοποιήσιμο, αντικειμενικό, συνεχές σύστημα συλλογής δεδομένων που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις διαταραχές της κινητικότητας για την αξιολόγηση της νόσου θα μπορούσε να βελτιώσει τη διάγνωση και την παρακολούθηση. Συμφωνα με Marie Chan et al ένα «βιονικό γάντι» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει λειτουργική ηλεκτρική διέγερση των μυών, είτε για να παράγει κίνηση με το χέρι είτε για να ανοίξει το χέρι. Το γάντι είναι σχεδιασμένο για να βελτιώνει τη λειτουργία του παραλυμένου χεριού μετά από τραυματισμό του νωτιαίου μυελού ή εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι εμφυτεύσιμες συσκευές μπορούν να βοηθήσουν στην αποκατάσταση μετά από παράλυση παρακάμπτοντας τις κατεστραμμένες περιοχές του νευρικού συστήματος, παρέχοντας στους ασθενείς τη δυνατότητα να ζουν με μεγαλύτερη αυτονομία και να βελτιώνουν την ποιότητα ζωής τους [8].

- Άγχος

Είναι αποδεδειγμένο ότι το άγχος είναι βασική αιτία ασθένειας και είναι πολύ χρήσιμο για τους επιστήμονες του χώρου να επιβλέπουν το άγχος σε πραγματικό χρόνο για μεγάλες περιόδους. Η παρακολούθηση των προσωπικών προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο θα μπορούσε να παρέχει στους ενδιαφερόμενους πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα του άγχους. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψυχολογική αξιολόγηση των μελών του στρατού που έλαβαν μέρος σε έντονη εκπαίδευση. Χρησιμοποιεί μέτρα μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού για να ποσοτικοποιήσει τα επίπεδα άγχους πριν και κατά τη διάρκεια της προπόνησης, καθώς και για να προβλέψει την αντοχή στο στρες [8].

- Σύνδρομο αιφνίδιου θανάτου βρεφών

Το σύνδρομο αιφνίδιου θανάτου βρεφών είναι ένα φαινόμενο στο οποίο υγιή νεογέννητα πεθαίνουν κατά τη διάρκεια του ύπνου στις κοιτίδες τους. Τα ακριβή αίτια του φαινομένου παραμένουν άγνωστα, ωστόσο μπορούν να εντοπιστούν διάφορα συμπτώματα που παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο. Παράμετροι όπως το ηλεκτροκαρδιογράφημα, το ποσοστό οξυγόνου στο αίμα, η θερμοκρασία του σώματος, ο ρυθμός της αναπνοής και η αρτηριακή πίεση μπορούν να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο με ένα wearable σύστημα ιδιαιτέρως στις περιπτώσεις των βρεφών με αυξημένο κίνδυνο [8].

4.3 Εμπορικές εφαρμογές στον τομέα της υγείας

- Bodymedia

Η συσκευή φοριέται στο πίσω μέρος του δεξιού ώμου. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα περιβραχιόνιο που αποτελείται από πολυουρεθάνη με επιταχυνσιόμετρο, αισθητήρα θερμικής αγωγιμότητας, αισθητήρα θερμοκρασίας περιβάλλοντος και δέρματος και αισθητήρα ηλεκτρικής αγωγιμότητας δέρματος. Μπορεί επίσης να συνδεθεί με έναν ασύρματο αισθητήρα καρδιακού ρυθμού. Το σύστημα επικεντρώνεται στη διαχείριση βάρους και αξιολογεί την κίνηση, τη ροή θερμότητας, τη θερμοκρασία του δέρματος, επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις της ενεργειακής δαπάνης. Μπορεί να συνδεθεί ασύρματα με εξωτερικούς αισθητήρες που βασίζονται σε πομποδέκτη GSM[7].

- Vivago WristCare

Το Vivago WristCare είναι μια ασύρματη συσκευή παρακολούθησης της υγείας που στόχο έχει να παρέχει συνεχή υποστήριξη για την ομαλή διαχείριση της υγείας. Είναι μια συσκευή που φοριέται στο χέρι παρακολουθεί τη θερμοκρασία του δέρματος, την αγωγιμότητα του δέρματος και την κίνηση[8].

- LifeShirt

Πρόκειται για μια εφαρμογή που ανέπτυξε η Vivometrics για τη συνεχή μέτρηση των πνευμονικών, καρδιακών και ζωτικών παραμέτρων. Διαθέτει επιταχυνσιόμετρα και αισθητήρες ενσωματωμένα σε ένα ένδυμα για μετρήσεις που αφορούν το αναπνευστικό σύστημα. Ένα εξωτερικό PDA αποθηκεύει τα δεδομένα και εξάγει τις πληροφορίες που ενδιαφέρουν το χρήστη[9].

- Navigator

Το Navigator χρησιμοποιεί ηλεκτροχημικό αισθητήρα με βάση την οξειδάση γλυκόζης, που εισάγεται υποδόρια και μετρά τη διάμεση γλυκόζη σε ένα εύρος 20-500 mg / dL κάθε 1 λεπτό (ή 1440 μετρήσεις ημερησίως).

- Glucoday

Το Glucoday είναι ένα φορητό όργανο εφοδιασμένο με μια μικροαντλία και βιοαισθητήρα, σε συνδυασμό με ένα σύστημα μικροδιάλυσης ικανό να καταγράφει το υποδόριο επίπεδο γλυκόζης κάθε 3 λεπτά [10].

---

[7] http://www.bodymedia.com/
[8] http://www.vivago.fr/
[9] http://www.vivometrics.com/

4.4 Η επίδραση στην κοινωνία

Τα wearable συστήματα υγείας πιστεύεται ότι έχουν τη δυνατότητα βελτίωσης της υγείας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ένα wearable σύστημα μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους της υγειονομικής περίθαλψης με την εισαγωγή προληπτικών στρατηγικών υγειονομικής περίθαλψης, την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών για τη μείωση του εξοπλισμού και του κόστους εργαστηρίου, την επινόηση νέων τεχνικών ακριβούς διάγνωσης και θεραπείας, εισάγοντας ένα ισορροπημένο σύστημα συμβολής για τα ενδιαφερόμενα μέρη και εξαλείφοντας τις άσκοπες υπηρεσίες υγείας. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των φορητών συστημάτων είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ηλικιωμένων, των ατόμων με ειδικές ανάγκες ή των ατόμων που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες. Τα αναμενόμενα οφέλη από την εφαρμογή wearable συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης αναμένεται ότι θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα οικονομικά των κοινωνιών με μείωση του προσωπικού για τη φροντίδα των ηλικιωμένων ή των χρόνιων ασθενών. Ακόμη, η τηλεφωνική φροντίδα μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση των ασθενών με την έγκαιρη επέμβαση και την πρόληψη των κρίσεων στην υγεία, περιορίζοντας έτσι τις επισκέψεις στα ιατρεία και στα νοσοκομεία [8].

4.5 Παραδείγματα εφαρμογής φορητών αισθητήρων

-Αξεσουάρ

- Κόσμημα όπως ρολόι χειρός, δαχτυλίδι ή βραχιόλι μετρησης παλμών, θερμοκρασίας σώματος, δεδομένων ηλεκτρομυογραφήματος.
- Ηλεκτρονικό έμπλαστρο.
- Περιβραχιόνιο με αισθητήρες που αξιολογούν την κίνηση, τη ροή θερμότητας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος κοντά στο σώμα, τον καρδιακό ρυθμό, τη θερμοκρασία του δέρματος.
- Ζώνη ή πουκάμισο για μέτρηση ζωτικών σημάτων.
- Πυτζάμες για ανίχνευση συνδρόμου αιφνιδίου θανάτου βρεφών.
- Παπούτσια για παρακολούθηση κίνησης ή ανάλυση βάδισης.
- Γυαλιά με ενσωματωμένα μικρόφωνα ή βιντεοκάμερες τα οποία μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες πλοήγησης. Τα γυαλιά παρέχουν ασύρματα εικονικές πληροφορίες στο χρήστη, περιγράφοντας πολιτιστικά ενδιαφέροντα, καταστήματα, εστιατόρια ενώ παράλληλα παρέχουν οπτική διόρθωση.
- Γάντια για την καταγραφή της στάσης των χεριών όταν το άτομο χειρίζεται αντικείμενα κατά την εκτέλεση διαφόρων δραστηριοτήτων.

-Εμφύτευση

- Μινι κάμερα ή χάπια για την μέτρηση της γαστρικής πίεσης και του γαστρικού ph.
- Βιοαισθητήρες συνεχούς παρακολούθησης της γλυκόζης.
- Εμφυτεύσιμες συσκευές σταδιακής ή συνεχούς χορήγησης φαρμάκου.
- Κάψουλες για ενδοσκόπηση
- Συσκευές για ηλεκτρική διέγερση μυών.

-Φορητοί

- Συσκευές ή συστήματα πολυμέσων
- Βιντεοκάμερες
- Μικρόφωνα
- PDA

-Ενσωμάτωση στο ρουχισμό του χρήστη

- Τα παθητικά έξυπνα υφάσματα λειτουργούν ως αισθητήρες.
- Τα ενεργά έξυπνα υφάσματα αντιλαμβάνονται και αντιδρούν στα ερεθίσματα από το περιβάλλον, παρουσιάζοντας λειτουργίες αισθητήρα και ενεργοποιητή.
- Τα πολύ έξυπνα υφάσματα προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους σε συγκεκριμένες περιστάσεις [3].

4.6 Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

[1] Byeong Wan An, Jung Hwal Shin, So-Yun Kim, Joohee Kim, Sangyoom Ji, Jihun Park, Youngjin Lee, Jiuk Jang, Young-Geun Park, Eunjin Cho, Subin Jo and Jang-Ung Park, “Smart Sensor Systems for Wearable Electronic Devices,” in Polymers, Vol. 9, Issue 8, August 2017.

[2] Paolo Bonato, “Wearable Sensors/Systems and Their Impact on Biomedical Engineering,” in IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Volume 22, Issue 3, May 2003, pp 18-20.

[3] Paolo Bonato, “Wearable Sensors and Systems. From enabling technology to clinical applications,” in IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Volume 29, Issue 3, May 2010, pp 25-36.

[4] Ademola Philip Abidoye, Nureni Ayofe Azeez, Ademola Olusola Adesina, Kehinde K. Agbele, Henry O. Nyongesa, “Using Wearable Sensors for Remote Healthcare Monitoring System,” in Journal of Sensor Technology, Volume 1, Issue 2), pp 22-28, January 2011. Available DOI: 10.4236/jst.2011.12004

[5] Lukasz Piwek, David A. Ellis, Sally Andrews, Adam Joinson, “The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers,” in PLoS Medicine, Volume 13, Issue 2, February 2016. Available DOI: 10.1371/journal.pmed.1001953

[6] Yasser Khan , Aminy E. Ostfeld , Claire M. Lochner , Adrien Pierre , and Ana C. Arias., “Monitoring of Vital Signs with Flexible and Wearable Medical Devices,” in Advanced Materials, Volume 28, Issue 22, February 2016.

[7] Kyu Jin Cho, H. Harry Asada, “Wireless, Battery-less Stethoscope for Wearable Health Monitoring,” in Proceedings of the IEEE 28th Annual Northeast Bioengineering Conference (IEEE Cat. No.02CH37342), Philadelphia, USA, February 2002. Available DOI: 10.1109/NEBC.2002.999528

[8] Marie Chan, Daniel Estève, Jean-Yves Fourniols, Christophe Escriba, Eric Campo, “Smart wearable systems: Current status and future challenges,” in Artificial Intelligence in Medicine, Volume 56, Issue 3, October 2012. Available internet address: http://dx.doi.org/10.1016/j.artmed.2012.09.003

[9] L. H. Segura Anaya, Abeer Alsadoon, N. Costadopoulos, P.W.C. Prasad, " Ethical Implications of User Perceptions of Wearable Devices," in Science and Engineering Ethics Journal, Volume 23, Issue 5, pp 1-28, February 2017. Available DOI: 10.1007/s11948-017-9872-8, 2018

[10] Varalli M, Marelli G, Maran A, Bistoni S, Luzzana M, Cremosi P, “A microdialysis technique for continuous subcutaneous glucose monitoring in diabetic patients” in Biosensors & Bioelectronics, Volume 18, Issue 7, pp 899-905, July 2003.

5. Garmin Vivosmart HR

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση της wearable συσκευής Garmin Vivosmart HR. Πρόκειται για το πρώτο activity tracker της Garmin με οπτικό αισθητήρα ανίχνευσης καρδιακών παλμών. Πέρα από την παρακολούθηση των καρδιακών παλμών κατά τη διάρκεια της ημέρας, προσφέρει δυνατότητα σύνδεσης με smartphone για λήψη ειδοποιήσεων. Στην Εικόνα 5.1 και 5.2 που ακολουθούν φαίνεται το Garmin Vivosmart HR, μαζί με το φορτιστή του που μπορεί να συνδεθεί σε οποιαδήποτε θύρα USB για φόρτιση, και το εγχειρίδιο κατόχου με τις σχετικές λεπτομέρειες για τη λειτουργία της συσκευής[10].

Εικόνα 5.1. Παρουσίαση Garmin Vivosmart HR[10].

[10] Πηγή εικόνων 5.1-5.12: https://www.dcrainmaker.com/2016/01/garmin-vivosmarthr-review.html

Εικόνα 5.2. Garmin Vivosmart HR[10].

Για το καταναλωτικό κοινό σημαντική παράμετρος για την επιλογή και προτίμηση κάποιας wearable συσκευής έναντι άλλης είναι το βάρος. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3 το Vivosmart HR της Garmin έχει βάρος 30 γραμμάρια.

Εικόνα 5.3. Βάρος Vivosmart HR[10].

Σαν συσκευή καταγραφής της καθημερινής δραστηριότητας του ατόμου η συσκευή μετράει τα βήματα, τον ύπνο και τους ορόφους που ανέβηκε ο χρήστης. Στη συσκευή είναι ενσωματωμένο επιταχυνσιόμετρο και σε συνδυασμό με διάφορους αλγόριθμους καταγράφονται οι παραπάνω παράμετροι.

Εικόνα 5.4. Λειτουργία καταγραφής βημάτων[10].

Η συσκευή διαθέτει οθόνη αφής και ο χρήστης μπορεί εναλλάσσοντας την να έχει πρόσβαση σε διαφορετικές παράμετρους. Στην εικόνα 5.4 φαίνεται η οθόνη μέτρησης των ημερήσιων βημάτων. Στη μέση της οθόνης φαίνονται τα συνολικά βήματα που έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια της ημέρας και στο κάτω μέρος τα βήματα-στόχος της ημέρα, που πρόκειται για μια δυναμικά μεταβαλλόμενη μέτρηση που στοχεύει στο να οδηγήσει το χρήστη σταδιακά σε μεγαλύτερη κινητικότητα. Ο χρήστης μπορεί να αψηφήσει αυτή τη λειτουργία και να ορίσει ένα σταθερό ημερήσιο στόχο βημάτων ανεξάρτητο από τα βήματα των προηγούμενων ημερών. Όταν επιτυγχάνεται ένας στόχος στην οθόνη εμφανίζεται μήνυμα επιβράβευσης για το χρήστη. Σε επόμενη οθόνη εμφανίζεται η απόσταση που διανύθηκε ως αποτέλεσμα των βημάτων που έγιναν. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τη μονάδα μέτρησης μεταξύ χιλιομέτρων και μιλίων. Αμέσως μετά ακολουθούν οι θερμίδες. Συνεχίζοντας, στην οθόνη που ακολουθεί παρουσιάζονται τα λεπτά έντασης της παρούσας εβδομάδας. Βασίζονται στον συνιστώμενο αριθμό λεπτών "μέτριας άσκησης" ανά εβδομάδα που είναι 5x30 λεπτά, δηλαδή 150 λεπτά εβδομαδιαίως. Ωστόσο, ο χρήστης και σε αυτή την παράμετρο μπορεί να θέσει διαφορετικό στόχο. Η λειτουργία αυτή φαίνεται στην εικόνα 5.5[11].

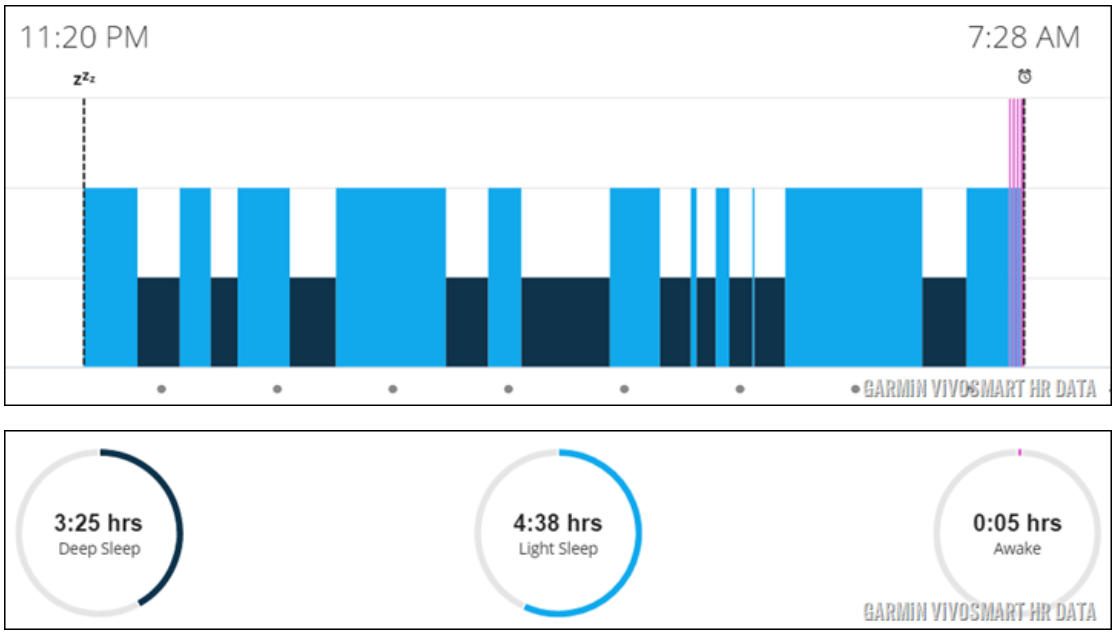
[11] https://www.dcrainmaker.com/2016/01/garmin-vivosmarthr-review.html

Εικόνα 5.5 Λειτουργία μέτρησης λεπτών έντασης[10].

Άλλη μια λειτουργία της συσκευής είναι ο υπολογισμός των ορόφων που ανέβηκε ο χρήστης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η συσκευή έχει ενσωματωμένο βαρόμετρο και βάση των αλλαγών της ατμοσφαιρικής πίεσης και κατάλληλων αλγορίθμων υπολογίζει συνεχώς την αλλαγή του υψομέτρου και την παρουσιάζει στο χρήστη σε μορφή ορόφων που έχει ανέβει (εικόνα 5.6). Η συσκευή θέτει καθημερινό στόχο σε αυτή τη λειτουργία τους δέκα όροφους, ωστόσο και αυτό επιδέχεται αλλαγή από το χρήστη.

Εικόνα 5.6. Καταγραφή αύξησης υψομέτρου[10].

Μια ακόμη λειτουργία του Garmin Vivosmart HR είναι η παρακολούθηση και καταγραφή της διάρκειας του ύπνου του χρήστη. Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα χωρίς να υπάρχει κάποια επιλογή στο μενού. Ο χρήστης έχει πρόσβαση σε αυτά τα αποτελέσματα κατόπιν συγχρονισμού με συνδεδεμένο smartphone ή ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης γίνεται μια αξιολόγηση της ποιότητας του ύπνου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7. Καταγραφή ύπνου[10].

Η συσκευή διαθέτει επίσης δυνατότητα καταγραφής προπόνησης τρεξίματος. Ωστόσο, επειδή δεν έχει ενσωματωμένο αισθητήρα καταγραφής θέσης (GPS), η απόσταση που διανύεται υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των βημάτων και του μήκους βηματισμού. Μετά την ολοκλήρωση μιας προπόνησης ο χρήστης μπορεί να την αποθηκεύσει στη συσκευή και στη συνέχεια μέσω της εφαρμογής Garmin Connect να αποκτήσει πρόσβαση σε λεπτομέρειες, όπως απόσταση, ρυθμός ανα χιλιόμετρο ή μίλι, μέσοι και μέγιστοι καρδιακοί παλμοί, θερμίδες. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 5.8[12].

Stats | Splits

Splits	Time	Cumulative Time	Moving Time	Distance	Avg Pace	Avg Moving Pace	Best Pace	Avg HR	Max HR	Calories
1	7:46.1	7:46.1	7:04	1.00	7:46	7:04	1:58	128	160	98
2	7:00	14:46	6:59	1.00	7:00	6:59	5:13	157	171	123
3	6:58	21:44	6:56	1.00	6:58	6:56	5:13	157	163	123
4	6:58	28:42	6:58	1.00	6:58	6:58	5:13	165	185	131
5	8:36	37:18	7:54	1.00	8:36	7:54	1:36	159	177	154
6	9:10	46:28	8:15	1.00	9:10	8:15	1:26	155	174	158
7	6:46.6	53:15	6:19	0.85	7:56	7:24	1:03	148	161	109
Summary	**53:15**	**53:15**	**50:25**	**6.85**	**7:46**	**7:21**	**1:03**	**153**	**185**	**896**

Εικόνα 5.8. Αποτελέσματα αερόβιας άσκησης με Garmin Vivosmart HR[10].

Ο οπτικός αισθητήρας ανίχνευσης καρδιακών παλμών είναι ένα πράσινο LED στο πίσω μέρος της συσκευής όπως φαίνεται στην εικόνα 5.9. Η Garmin στο Vivosmart HR χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα που έχει αναπτύξει η ίδια και χρησιμοποιεί και σε άλλες συσκευές, τον οποίο έχει ονομάσει 'Elevate'. Ο αισθητήρας αυτός έχει δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού (24 ώρες την ημέρα), παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια προπόνησης και αναμετάδοση του καρδιακού ρυθμού σε άλλες συσκευές μέσω ANT+. Το ANT+ είναι ασύρματη τεχνολογία που επιτρέπει στις συσκευές παρακολούθησης να επικοινωνούν μεταξύ τους δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει πρόσβαση και παρακολούθηση των δεδομένων από περισσότερες συσκευές[13] [14].

[12] https://www.dcrainmaker.com/2016/01/garmin-vivosmarthr-review.html
[13] https://en.wikipedia.org/wiki/ANT%2B
[14] https://www.thisisant.com/consumer/ant-101/what-is-ant/

Εικόνα 5.9. Οπτικός αισθητήρας ανίχνευσης καρδιακών παλμών[10].

Σύμφωνα με τη Garmin ο οπτικός έλεγχος του καρδιακού ρυθμού Garmin είναι ένα πολύτιμο εργαλείο που μπορεί να παρέχει μια ακριβή εκτίμηση του καρδιακού ρυθμού του χρήστη σε οποιοδήποτε δεδομένο χρονικό σημείο. Ο οπτικός αισθητήρας έχει σχεδιαστεί για να προσπαθεί να παρακολουθεί τον καρδιακό ρυθμό του χρήστη 24 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα. Η συχνότητα μέτρησης του καρδιακού ρυθμού ποικίλλει και μπορεί να εξαρτάται από το επίπεδο δραστηριότητας του χρήστη. Όταν ο χρήστης ξεκινάει μια δραστηριότητα με τη συσκευή της Garmin, ο οπτικός αισθητήρας καταγράφει πιο συχνά. Η πρόθεση είναι να παρέχεται στο χρήστη μια συχνότερη και ακριβέστερη μέτρηση του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης δραστηριότητας. Ενώ η τεχνολογία παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού με οπτικό αισθητήρα είναι η τελευταία λέξη της τεχνολογίας, υπάρχουν περιορισμοί που ενδέχεται να προκαλέσουν ανακρίβειες στα δεδομένα καρδιακού ρυθμού που καταγράφονται υπό ορισμένες συνθήκες. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του χρήστη, η προσαρμογή της συσκευής, ο τύπος και η ένταση της δραστηριότητας αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν. Τα δεδομένα παρακολούθησης HR δεν προορίζονται για ιατρική χρήση ούτε για τη διάγνωση, τη θεραπεία ή την πρόληψη οποιασδήποτε ασθένειας[15].

Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι πρότινος σε παρόμοιες εφαρμογές η παρακολούθηση των καρδιακών παλμών γινόταν με ζώνη που φορούταν στον θώρακα η οποία μετρούσε την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς για την εξαγωγή δεδομένων καρδιακού ρυθμού. Η μέθοδος αυτή παραμένει ακόμα πιο ακριβής από τον οπτικό αισθητήρα, ωστόσο ο τελευταίος έχει αρχίσει να κερδίζει

[15] https://www.garmin.com/en-CA/legal/atdisclaimer

έδαφος τα τελευταία χρόνια. Ο οπτικός αισθητήρας χρησιμοποιεί δέσμες φωτός που αναβοσβήνουν στο δέρμα, φωτίζοντας τα τριχοειδή αγγεία. Με αυτό τον τρόπο ανιχνεύσουν αλλαγές στον όγκο του αίματος και με κατάλληλους υπολογισμούς καταλήγουν σε δεδομένα καρδιακού ρυθμού σε πραγματικό χρόνο[16].

Όπως έχει προαναφερθεί, η συσκευή μπορεί να συνδεθεί μέσω Bluetooth με συσκευή smartphone και να ενημερώνει το χρήστη με δόνηση και χαρακτηριστικό μήνυμα για πιθανές ειδοποιήσεις. Διαθέτει επίσης λειτουργία 'Μην ενοχλείτε', η οποία όταν ενεργοποιείται θέτει τη συσκευή σε σίγαση και δεν λαμβάνονται ειδοποιήσεις. Ακόμη ο χρήστης μέσω του Vivosmart HR μπορει να ρυθμίσει τη μουσική που αναπαράγεται από το συνδεδεμένο smartphone, χωρίς όμως να έχει δυνατότητες αποθήκευσης και αναπαραγωγής μουσικής. Τέλος, η συσκευή λαμβάνει από το Garmin Connect πληροφορίες σχετικά με τον καιρό και τις εμφανίζει σε ξεχωριστή οθόνη. Στις εικόνες 5.10-12 που ακολουθούν φαίνονται οι παραπάνω λειτουργίες.

Εικόνα 5.10. Μενού Vivosmart HR[10].

[16] https://www.wareable.com/garmin/garmin-heart-rate-monitor-guide-230

Εικόνα 5.11. Χειρισμός μουσικής που αναπαράγεται από smartphone[10].

Εικόνα 5.12. Πληροφορίες καιρικών συνθηκών[10].

6. Μεθοδολογία

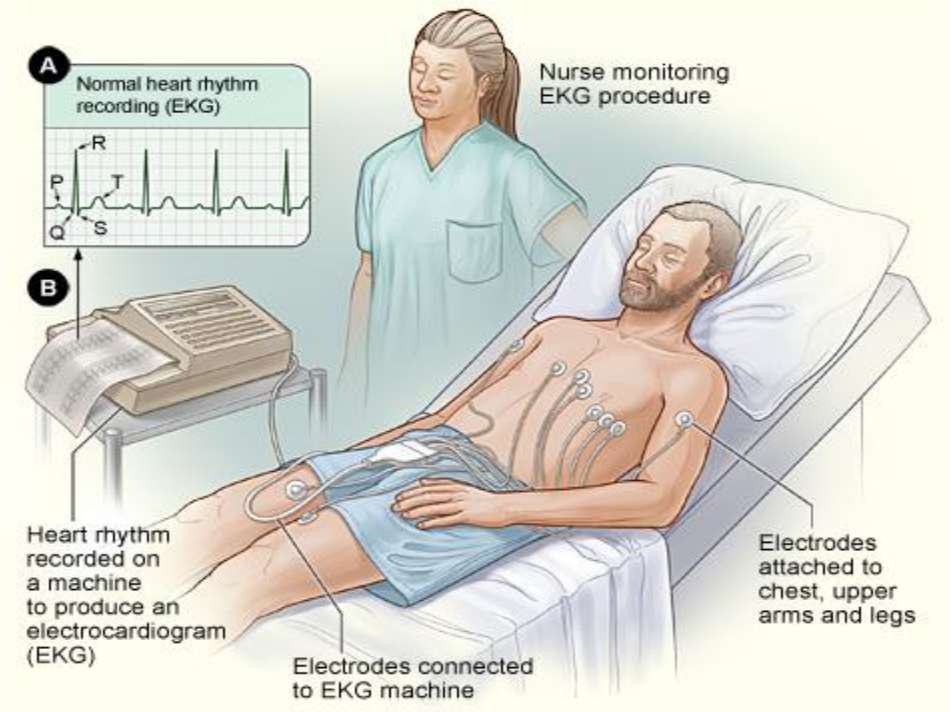
Στο σημείο αυτό γίνεται ανάλυση της μεθοδολογίας και των διαδικασιών παρακολούθησης, καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων όπως βήματα, θερμίδες, καρδιακοί παλμοί κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας στην Ελλάδα. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένα άτομο, τον συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με την συναίνεση του όσον αφορά, τόσο την καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων, όσο και την παραχώρηση προσωπικών πληροφοριών σύμφωνα με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR). Παρόλο που η μελέτη αφορά ένα άτομο, μπορεί να επεκταθεί στο σύνολο των οπλιτών. Από την ανάλυση εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα και συσχετισμοί. Η wearable συσκευή Garmin Vivosmart HR, τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες της οποίας αναλύθηκαν στο πρώτο μέρος της εργασίας χρησιμοποιήθηκε για τον παραπάνω σκοπό. Η χρονική διάρκεια της μελέτης ορίστηκε στο διάστημα των είκοσι εβδομάδων που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της υποχρεωτικής στρατιωτικής θητείας του συγγραφέα.

Μια εβδομάδα πριν την έναρξη της στρατιωτικής θητείας το άτομο υπόκειται σε εξετάσεις ηλεκτροκαρδιογραφήματος και υπερηχοκαρδιογραφήματος (triplex καρδιάς) με σκοπό να εξασφαλισθεί η ομαλή λειτουργία της καρδιάς ή να διαπιστωθούν πιθανές παθήσεις. Την ίδια ημέρα καταγράφηκαν το σωματικό βάρος και ύψος του ατόμου. Όσον αφορά το σωματικό βάρος, γινόταν μηνιαία μέτρηση και καταγραφή. Η παρακολούθηση και καταγραφή των προς αξιολόγηση παραμέτρων ξεκίνησε 3 εβδομάδες μετά την έναρξη της στρατιωτικής θητείας και ολοκληρώθηκε 20 εβδομάδες αργότερα. Στο Παράρτημα 1 που ακολουθεί στο τέλος της εργασίας είναι κατανεμημένα σε πίνακες τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Η ημέρα 1 αντιστοιχεί στην πρώτη ημέρα καταγραφής δεδομένων. Αμέσως μετά την ολοκληρωση της στρατιωτικής θητείας η καταγραφή συνεχίστηκε για διάστημα 3 εβδομάδων (21 ημερών) (βλ. Παράρτημα), ώστε από τη σύγκριση να προκύψουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Μετά το πέρας και αυτού του διαστήματος, το άτομο επανέλαβε τις εξετάσεις ηλεκτροκαρδιογραφήματος, υπερηχοκαρδιογραφήματος και τη μέτρηση του σωματικού βάρους.

Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί εμφανίζεται η αποτύπωση της καταγραφής δεδομένων ύψους, σωματικού βάρους, μέσης τιμής καρδιακών παλμών ήρεμίας, ηλεκτροκαρδιογραφήματος και υπερηχογραφήματος σε μηνιαία βάση.

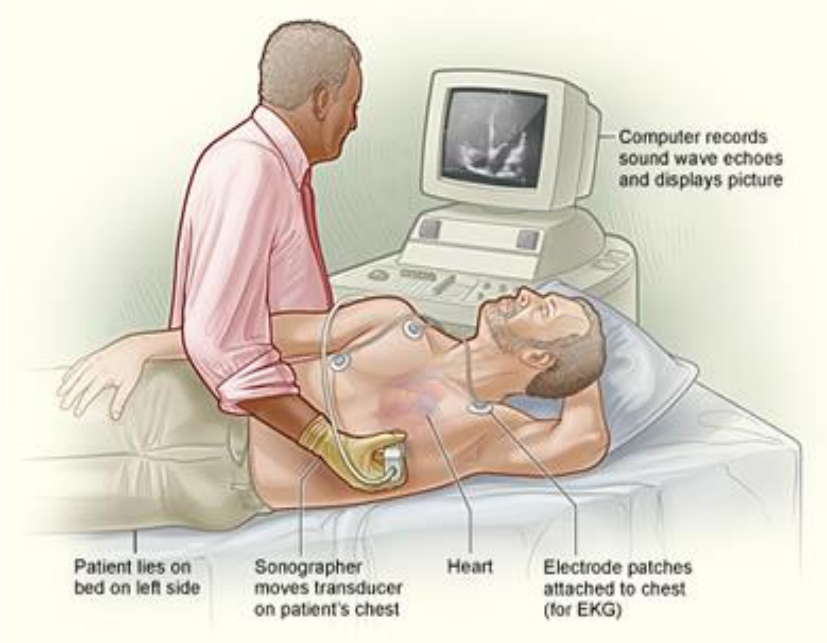
Η εικόνα 6.1 δείχνει την τυπική διάταξη για ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα. Στο σχήμα Α, παρουσιάζεται η απεικόνιση ενός φυσιολογικού καρδιακού παλμού. Στο σχήμα Β, ένας ασθενής βρίσκεται σε ένα κρεβάτι με τα ηλεκτρόδια συνδεδεμένα στο στήθος, τους βραχίονες και τα πόδια του και μια νοσοκόμα επιβλέπει την ανώδυνη διαδικασία. Στην εξέταση του υπερηχογραφήματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2, ο ασθενής ξαπλώνει στην αριστερή πλευρά του σώματός του. Ο γιατρός μετακινεί τον αισθητήρα στο στήθος του ασθενούς και βλέπει την ίδια στιγμή τα αποτελέσματα του υπερήχου στην οθόνη ενός υπολογιστή. Οι εξετάσεις ηλεκτροκαρδιογραφήματος

και υπερηχοκαρδιογραφήματος πραγματοιποιήθηκαν με τον τρόπο που απεικονίζεται στις παραπάνω εικόνες. Ενδεικτικά, τα αποτελέσματα των ΗΚΓ πριν και μετά τη στρατιωτική θητεία του υπό μελέτη ατόμου παρουσιάζονται στις εικόνες 6.3 και 6.4 αντίστοιχα. Συμφωνα με τον επιβλέποντα ιατρό τα αποτελέσματα του συνόλου των εξετάσεων που εκτελέστηκαν θεωρούνται φυσιολογικά.

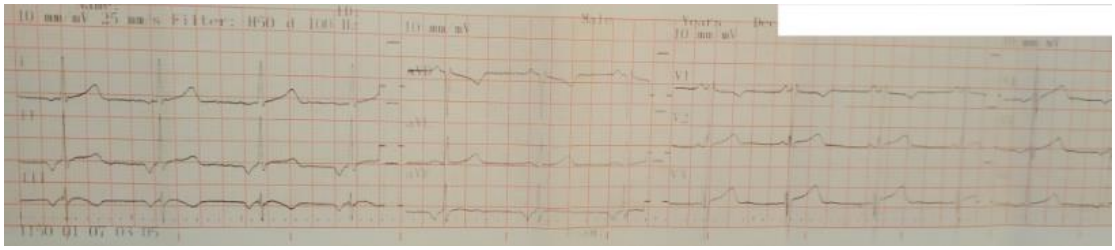


Εικόνα 6.1. Εξέταση ηλεκτροκαρδιογραφήματος[17].

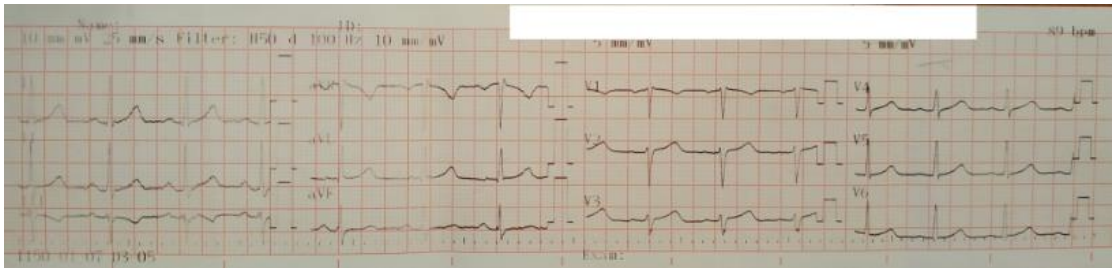
[17] Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Echo_setup.jpg



Εικόνα 6.2. Εξέταση υπερηχοκαρδιογραφήματος[18].



Εικόνα 6.3 Ηλεκτροκραδιογράφημα πριν την έναρξη της στρατιωτικής θητείας.



Εικόνα 6.4 Ηλεκτροκαρδιογράφημα μετά το πέρας της στρατιωτικής θητείας.

[18] Πηγή:https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:ECG#/media/File:Ekg_NIH.jpg

	πριν	1ος μήνας	2ος μήνας	3ος μήνας	4ος μήνας	5ος μήνας	μετά
ύψος	173	173	173	173	173	173	173
βάρος	73,6	72,8	73,2	74,1	74,7	75,6	74,8
παλμοί ηρεμίας	-	56,57	55,39	58,64	57,89	57,5	57,38
ΗΚΓ	φυσ/κό	-	-	-	-	-	φυσ/κό
triplex	φυσ/κό	-	-	-	-	-	φυσ/κό

Πίνακας 6.1. Ατομικά χαρακτηριστικά χρήστη.

7. Αξιολόγηση δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ενδιαφέροντα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων. Στο Παράρτημα 1 που ακολουθεί στο τέλος της εργασίας, όπως προαναφέρθηκε είναι κατανεμημένα σε πίνακες τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με τη συγκατάθεση του υπό μελέτη ατόμου, συμφωνα με το Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR). Ο αναφερόμενος συναινεί επίσης στη διαθεσιμότητα των δεδομένων και αποτελεσμάτων μετά το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά έγινε σύγκριση ανάμεσα στα δεδομένα που καταγράφηκαν κατά την στρατιωτική θητεία και αυτά που καταγράφηκαν μετά το πέρας αυτής. Υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές της κάθε παραμέτρου στην κάθε περίοδο και συγκρίθηκαν αυτές οι τιμές.

7.1 Βήματα – Θερμίδες

Η θερμίδα (cal) είναι μονάδα μέτρησης της ενέργειας. Στους περισσότερους τομείς έχει αντικατασταθεί από τη μονάδα μέτρησης του διεθνούς συστήματος μονάδων (SI), που είναι το Joule, με το 1 Joule να αντιστοιχεί σε 0,23 θερμίδες. Ωστόσο η θερμίδα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενέργειας που αποδίδουν τα τρόφιμα στον ανθρώπινο οργανισμό. Μετράει την ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται αν μια δεδομένη ποσότητα φαγητού αντιδρά με οξυγόνο (καίγεται). Η διατροφική θερμίδα αντιστοιχεί στη χιλιοθερμίδα και συμβολίζεται με Θ, C, kcal. Η ενέργεια αυτή αφορά την ενέργεια που θεωρητικά αποδίδουν τα τρόφιμα χωρίς να συνυπολογίζονται οι ενεργειακές απώλειες του πεπτικού και ουροποιητικού συστήματος[19].

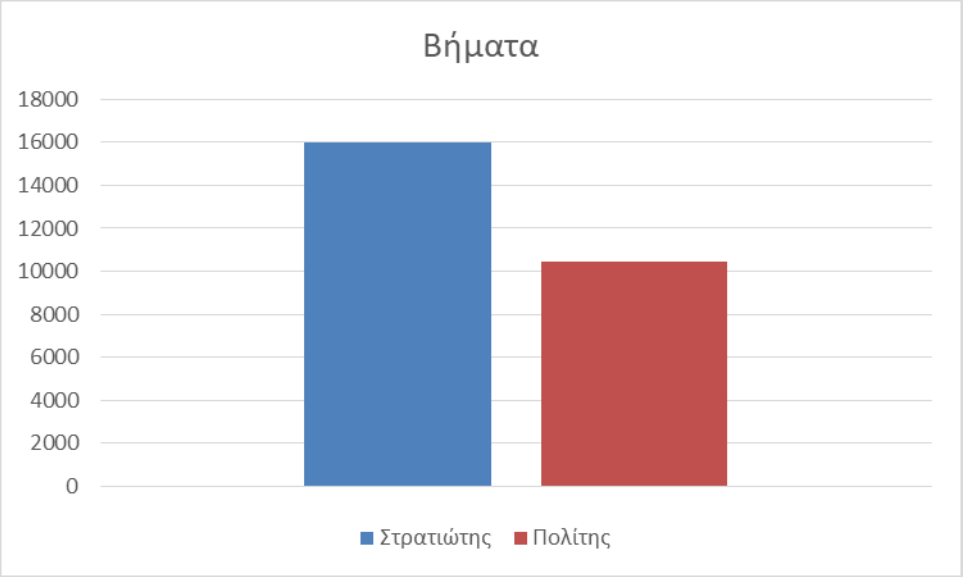
Ο μεταβολισμός περιλαμβάνει όλες τις βιοχημικές διαδικασίες, που εμπλέκονται στην παραγωγή και στην απελευθέρωση της ενέργειας. Ο βασικός μεταβολισμός είναι το σύνολο της ενέργειας που πρέπει να χρησιμοποιήσει ο οργανισμός του ανθρώπου για να καλύψει πλήρως όλες τις λειτουργίες που γίνονται εν αγνοία του, προκειμένου να διατηρηθεί στη ζωή. Η λειτουργία της καρδιάς και η διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος αποτελούν τέτοιου είδους λειτουργίες. Ο βασικός μεταβολισμός επηρεάζεται άμεσα κυρίως από το βάρος, την ηλικία, το φύλο και τη σωματική διάπλαση. Οι υπόλοιπες θερμίδες που καταναλώνει καθημερινά ένα άτομο είναι η ενέργεια που ξοδεύει μέσω της φυσικής δραστηριότητας. Κάθε δραστηριότητα έχει διαφορετικό συντελεστή και η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια προκύπτει ως συνδυασμός του βασικού μεταβολισμού και του συνολικού συντελεστή δραστηριότητας[20].

Το περπάτημα αποτελεί μια μορφή φυσικής δραστηριότητας και ως εκ τούτου αναμένεται να επηρεάζει τη συνολική ημερήσια κατανάλωση θερμίδων του ατόμου. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ο συγγραφέας συνδέει τα καθημερινά βήματα που πραγματοποιεί ένα άτομο με την κατανάλωση θερμίδων. Συγκρίνει επίσης τον αριθμό βημάτων που πραγματοποιεί κατά την περίοδο της στρατιωτικής θητείας με τον αντίστοιχο αριθμό εκτός στρατού και εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα[21].

Στο Διάγραμμα 7.1 που ακολουθεί απεικονίζεται η μέση ημερήσια τιμή των βημάτων που πραγματοποίησε ο χρήστης. Εύκολα διακρίνει κάνεις τη σημαντική διαφορά μεταξύ των περιόδων μελέτης. Συγκεκριμένα, κατά την στρατιωτική θητεία, ο χρήστης πραγματοποιούσε κατά μέσο όρο 16020 βήματα ημερησίως, ενώ μετά το τέλος αυτής η αντίστοιχη τιμή ήταν 10434 βήματα. Η διαφορά αυτή μεταφράζεται σε μείωση της τάξης του 35%.

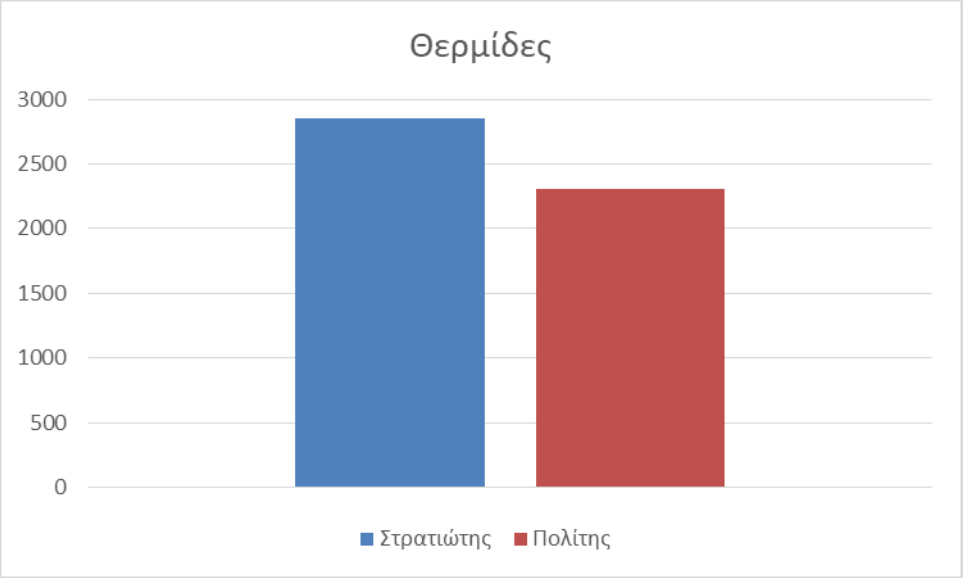
---

[19] https://el.wikipedia.org/wiki/Θερμίδα
[20] https://el.wikipedia.org/wiki/Θερμιδική_αξία
[21] https://www.onmed.gr/diatrofi/story/319059/deite-poses-thermides-xreiazeste-tin-imera-pinakes

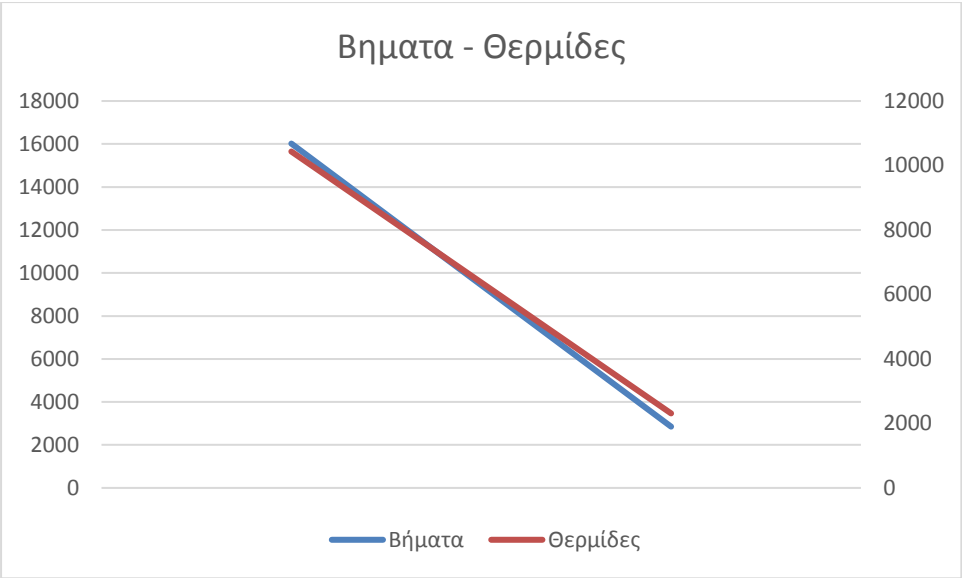


Διάγραμμα 7.1. Καταγραφή ημερήσιων βημάτων.

Με όμοιο τρόπο συγκρίθηκαν τα δεδομένα κατανάλωσης θερμίδων και παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 7.2. Παρατηρείται ότι η μέση ημερήσια κατανάλωση θερμίδων είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της περιόδου της στρατιωτικής θητείας. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται αναμενόμενο αν αναλογιστεί κανείς τη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των βημάτων που πραγματοποιεί ένα άτομο με τις θερμίδες που καταναλώνει. Έτσι, αφού παρατηρείται μείωση στον αριθμό των βημάτων μεταξυ των δύο περιόδων, είναι φυσικό να παρατηρείται και μείωση κατανάλωσης θερμίδων. Στο Διάγραμμα 7.3 είναι εμφανής αυτή η συσχέτιση. Αναλυτικά, για την περίοδο της στρατιωτικής θητείας η τιμή ανέρχεται στις 2852 θερμίδες ημερησίως και μετά το πέρας της στις 2311, με τη διαφορά να αντιστοιχεί σε περίπου 23% μείωση.



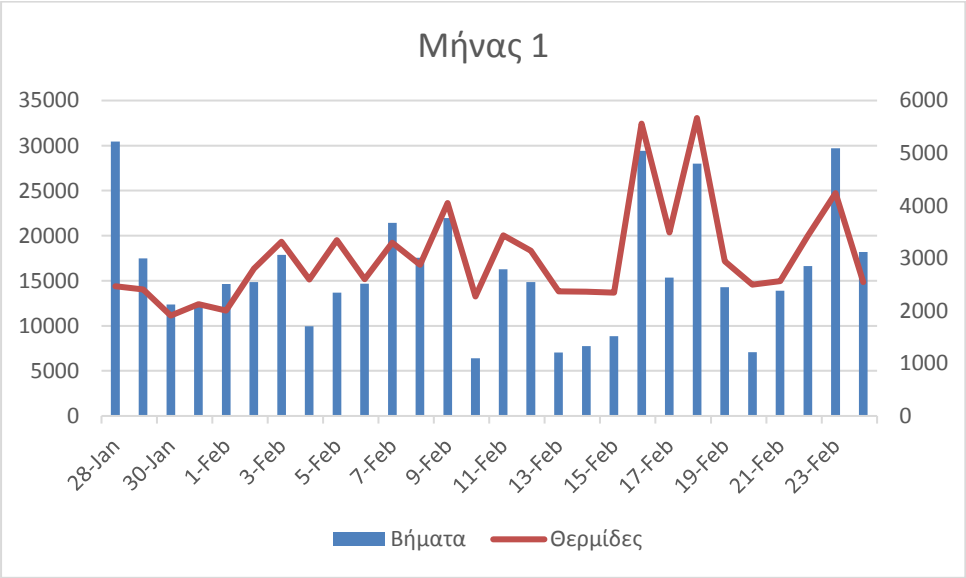
Διάγραμμα 7.2. Ημερήσια κατανάλωση θερμίδων.



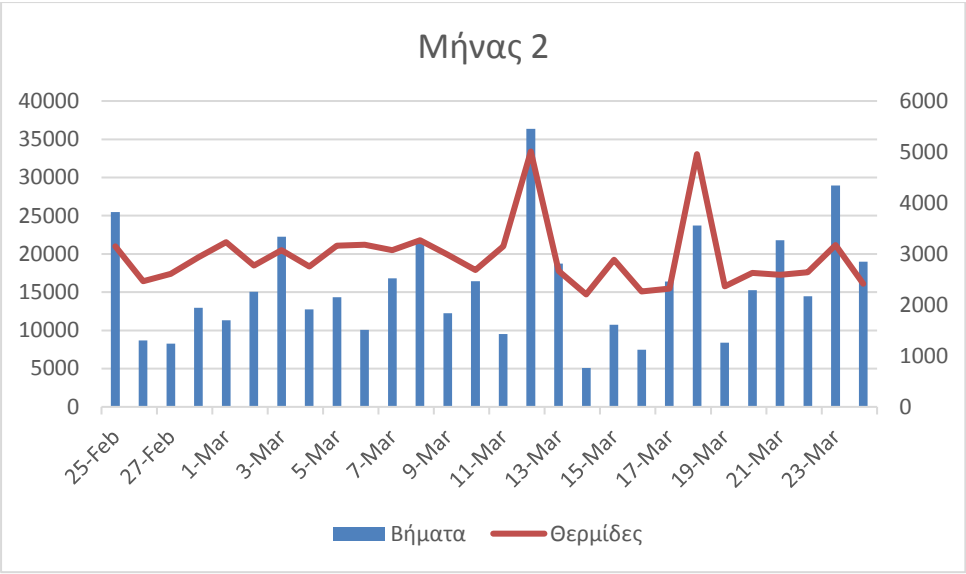
Διάγραμμα 7.3. Σύνδεση Βημάτων-Θερμίδων.

7.1.1 Βήματα – Θερμίδες κατά την στρατιωτική θητεία

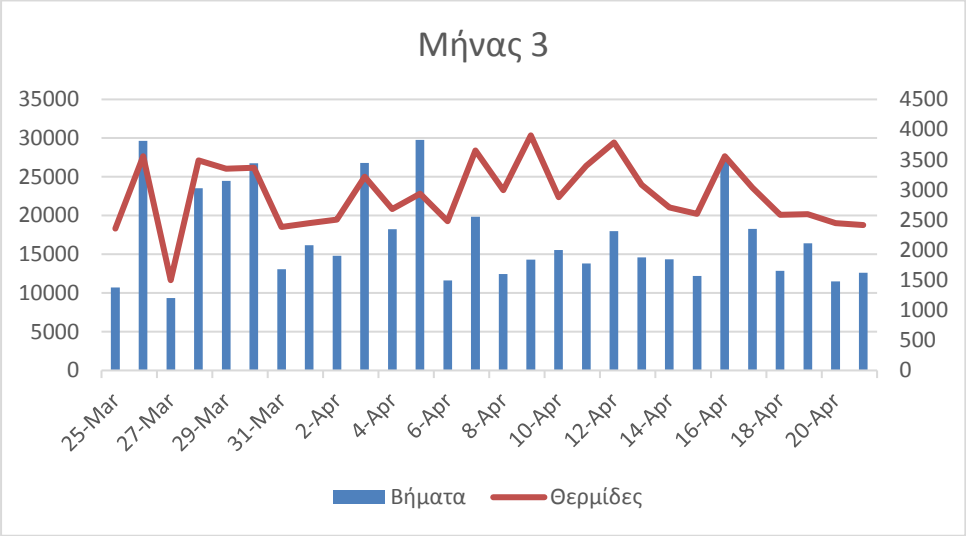
Με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας κατασκευάστηκαν τα ακόλουθα διαγράμματα 7.4-7.8. Σε αυτά τοποθετούνται σε κοινό σύστημα αξόνων τα ημερήσια βήματα που πραγματοποίησε ο χρήστης και η κατανάλωση θερμίδων όπως καταγράφηκαν από τη συσκευή Garmin Vivosmart HR. Μπορεί να διακρίνει κανείς ότι στην πλειοψηφία των ζευγών βήματα-θερμίδες, οι καταναλισκόμενες θερμίδες 'ακολουθούν' τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν την κάθε ημέρα.



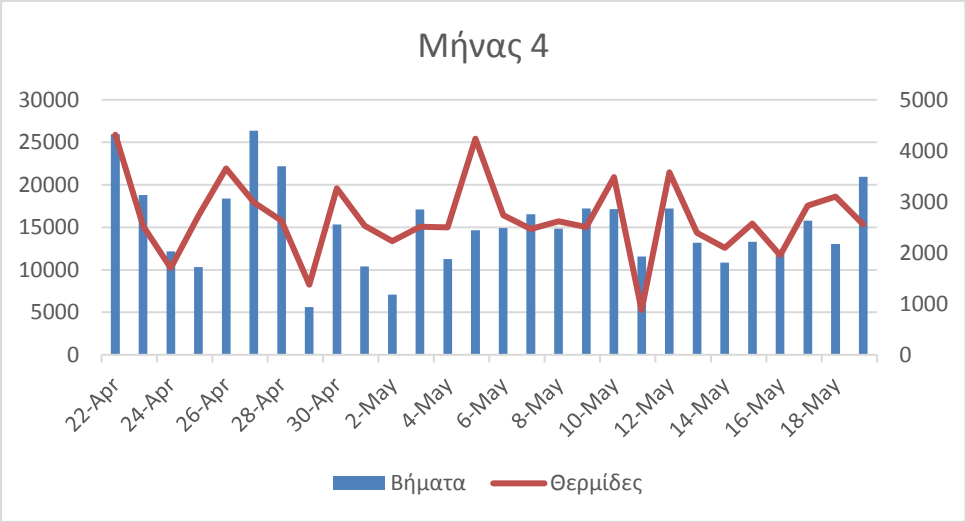
Διάγραμμα 7.4. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 1.



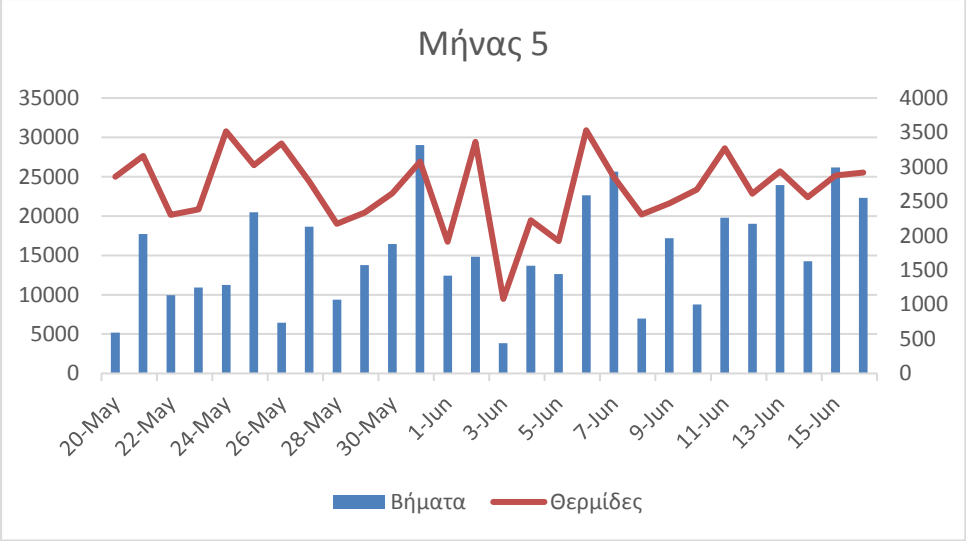
Διάγραμμα 7.5. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 2



Διάγραμμα 7.6. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 3

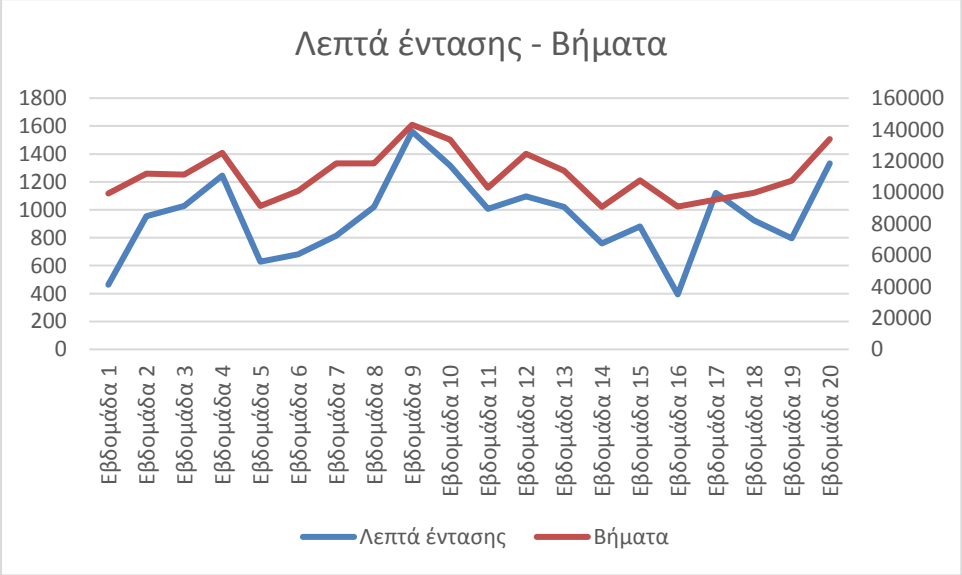


Διάγραμμα 7.7. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 4



Διάγραμμα 7.8. Βήματα-Θερμίδες κατά τον μήνα 5

Από την μελέτη που έγινε προέκυψε ότι υπάρχει σύνδεση των εβδομαδιαίων λεπτών έντασης που κατέγραψε η συσκευή με τα συνολικά βήματα που πραγματοποιήθηκαν την εκάστοτε εβδομάδα. Σχηματικά αυτό φαίνεται στο διάγραμμα 7.9 από το οποίο φαίνεται ότι υπάρχει σύνδεση των δύο παραμέτρων. Αυτό σύμφωνα με τον συγγραφέα είναι αναμενόμενο αφού η συνεχής κίνηση του ατόμου (πχ περπάτημα) προκαλεί αύξηση του καρδιακού ρυθμού η οποία μεταφράζεται σε λεπτά έντασης. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες, στατικές, μορφές άσκησης (πχ εκγύμναση με βάρη) που προκαλούν αύξηση των λεπτών έντασης. Για το λόγο αυτό δεν θα αποτελούσε έκπληξη αν στο διάγραμμα 7.9 παρουσιάζονταν τοπικά μέγιστα των λεπτών έντασης τα οποία δεν συνδυάζονταν με υψηλό αριθμό βημάτων.



Διάγραμμα 7.9. Σύνδεση βημάτων - λεπτών έντασης

7.2 Καρδιακοί Παλμοί κατά την ηρεμία

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν σχετικά με τους καρδιακούς παλμούς ηρεμίας. Οι καρδιακοί παλμοί ηρεμίας αναφέρονται στους χτύπους της καρδιάς ανά λεπτό, όταν ο οργανισμός βρίσκεται σε ηρεμία. Συνήθως, η τιμή αυτή μετράται το πρωί, μετά από καλό ύπνο και πριν το άτομο σηκωθεί από το κρεβάτι. Οι καρδιακοί παλμοί ηρεμίας είναι κατά κανόνα πιο χαμηλοί στους γυμνασμένους από ότι στους αγύμναστους. Αυτό συμβαίνει επειδή η καρδιά στους γυμνασμένους λειτουργεί πιο αποδοτικά και καταφέρνει με κάθε χτύπο να στέλνει περισσότερο αίμα στο υπόλοιπο σώμα. Αυξημένη τιμή καρδιακών παλμών ηρεμίας αποτελεί ένδειξη κινδύνου για έμφραγμα ή κοιλιακή μαρμαρυγή (ανακοπή καρδιάς) ακόμα και αν δεν υπάρχει φανερό πρόβλημα υγείας. Οι φυσιολογικές τιμές αλλάζουν ανάλογα με την ηλικία του ατόμου[22]. Σύμφωνα με το αμερικανικό εθνικό ισνστιτούτο υγείας ο μέσος όρος καρδιακών παλμών σε κατάσταση ηρεμίας είναι:

Ηλικία	Φυσιολογικοί σφυγμοί/λεπτό
1ος μήνας ζωής	70-190
1ος - 11ος μήνας ζωής	80-160
1 - 2 ετών	80-130
3 - 4 ετών	80-120
5 - 6 ετών	75-115
7 - 9 ετών	70-110
10 ετών και πάνω	60-100

Πίνακας 7.1 Καρδιακοί παλμοί κατά την ηρεμία ανάλογα με την ηλικία[23].

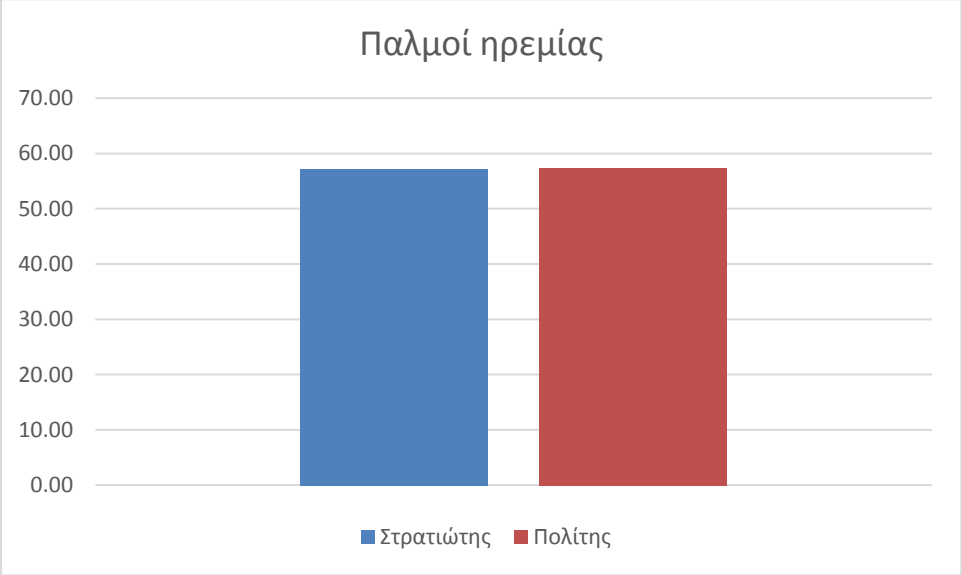
Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, η φυσιολογική τιμή για έναν ενήλικα κυμαίνεται μεταξύ 60 – 100 παλμών ανα λεπτό. Ωστόσο σύμφωνα με μελέτη που έχει δημοσιευτεί στο επιστημονικό περιοδικό «Journal of Epidemiology & Community Health», η ανωτερη τιμή πρέπει να μειωθεί επειδή όταν ο καρδιακός παλμός σε κατάσταση ηρεμίας βρίσκεται κοντά στο ανώτερο όριο, τότε αυξάνεται κατακόρυφα ο κίνδυνος εγκεφαλικού, καρδιοπάθειας, διαβήτη και παχυσαρκίας.

[22] https://www.iatropedia.gr/ygeia/fysiologikoi-sfygmoi-oi-times-ana-ilikia-kai-pos-na-tous-metrisete/49901/
[23] Πηγή: Βασισμένο σε στοιχεία του https://www.nih.gov/

Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι κάθε αύξηση των παλμών κατά 10 ανά λεπτό, σήμαινε 18% αύξηση του κινδύνου θανάτου από έμφραγμα στις γυναίκες και 10% στους άνδρες. Άλλη μία δημοσίευση στην «Αμερικανική Επιθεώρηση Υπέρτασης» αναφέρει ότι ενήλικες με καρδικό ρυθμό ηρεμίας ανώτερο από 80 παλμούς ανά λεπτό, διατρέχουν σημαντικά αυξημένο κίνδυνο να έχουν γίνει παχύσαρκοι και να πάσχουν από διαβήτη δύο δεκαετίες αργότερα[24].

Η τιμή των καρδιακών παλμών ηρεμίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ένα άτομο μπορεί να παρατηρήσει μείωση μέσω της συστηματικής άσκησης και διατροφής πλούσιας σε ωμέγα-3. Ακόμη όπως φαίνεται από τον Πινακα 7.10 τα παιδιά έχουν πιο γρήγορο καρδιακό ρυθμό, διότι ο οργανισμός τους αναπτύσσεται και απαιτεί μεγαλύτερη ποσότητα αίματος να φτάνει στους ιστούς. Το φύλο αποτελεί επίσης έναν παράγοντα με τις γυναίκες να εμφανίζουν αυξημένες τιμές σε σχέση με τους άνδρες. Άλλος ένας παράγοντας όπως αναφέρθηκε είναι το επίπεδο της φυσικής κατάστασης, με τους πιο γυμνασμένους να έμφανίζουν χαμηλότερες τιμές, που μπορεί να φτάνουν και τους 40 σφυγμούς ανά λεπτό. Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι το κάπνισμα και τα ενεργειακά ποτά που περιέχουν ζάχαρη, ταυρίνη και καφείνη αυξάνουν γενικά την καρδιακή συχνότητα συμπεριλαμβανομένων των παλμών κατά την ηρεμία[25] [26].

Προτού παρουσιαστούν τα αποτελέσματα, αξίζει να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε άτομο ηλικίας 26 ετών, μη-καπνιστή, με ικανοποιητική αθλητική δραστηριότητα και ισορροπημένη μεσογειακή διατροφή.



Διάγραμμα 7.10 Καταγραφή παλμών ηρεμίας.

[24] https://www.onmed.gr/ygeia/story/306764/posoi-einai-telika-oi-fusiologikoi-palmoi-tis-kardias
[25] https://www.healthyliving.gr/2013/04/22/kardiakos-sfygmos-kardia-ygeia-omega-3/
[26] https://www.onmed.gr/ygeia/story/317776/fysiologikoi-palmoi-ana-ilikia-deite-ton-analytiko-pinaka

Από το Διάγραμμα 7.10 γίνεται αντιληπτό ότι η καρδιακή συχνότητα κατά την ηρεμία είναι μια παράμετρος που δεν επηρεάστηκε κατά την περίοδο της στρατιωτικής θητείας. Η μέση τιμή που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο αυτή ανέρχεται στους 57,20 παλμούς ανά λεπτό, ενώ η αντίστοιχη τιμή μετά το τέλος της ήταν 57,38. Το γεγονός ότι οι μέσες τιμές είναι μικρότερες από την κατώτατη τιμή που αναφέρει το αμερικανικό εθνικό ινστιτούτο υγείας, φανερώνουν την καλή φυσική κατάσταση του ατόμου όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Αξίζει επίσης να παρατηρηθεί το εύρος των καταγεγραμένων δεδομένων οι οποίες για την πρώτη περίοδο αναφοράς ήταν 44-72, και για τη δεύτερη 46-70. Επαληθεύεται με αυτό τον τρόπο ότι δεν υπάρχει επιρροή της στρατιωτικής θητείας στους καρδιακούς παλμούς ηρεμίας.

7.3 Ώρες Ύπνου

Ο ύπνος είναι ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο, απαραίτητος για τη ζωή και την λειτουργία του εγκεφάλου. Σχετίζεται ακόμη με τη φυσιολογική λειτουργία του ατόμου, συμπεριλαμβανομένων του μεταβολισμού, της ρύθμισης της όρεξης και της λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος. Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι σχετίζεται με τη θνησιμότητα, καρδιαγγειακές και εγκεφαλικές παθήσεις, την παχυσαρκία, τον διαβήτη, την κατάθλιψη και άλλες ασθένειες. Συνήθως οι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται την επίδραση του ύπνου στην υγεία, ωστόσο οι επιστήμονες έχουν πραγματοποιήσει πολλές έρευνες και μελέτες για να απαντήσουν στο ερώτημα 'πόσες ώρες ύπνου χρειάζεται ένας άνθρωπος για να έχει τη βέλτιστη υγεία' [1,3,4].

Σύμφωνα με το αμερικανικό εθνικό ίδρυμα για τον ύπνο (National Sleep Foundation) οι ιδανικές ώρες ύπνου διαφοροποιούνται ανάλογα με την ηλικία του ατόμου. Επιστήμονες από διάφορους κλάδους συνεργάστηκαν και εξέτασαν επιστημονικές μελέτες σχετικά με τον ύπνο και την υγεία ώστε να καταλήξουν στις ιδανικές ώρες ύπνου για κάθε ηλικία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 7.12 που ακολουθεί [1].

Ηλικία	Συνιστώμενες	Πιθανόν ικανοποιητικές	Δεν συνίσταται
0 - 3 μηνών	14-17 h	11-13h & 18-19h	<11h & >19h
4 - 11 μηνών	12-15 h	10-11h &16-18h	<10h & >18h
1 - 2 ετών	11-14 h	9-10h & 15-16h	<9h & >16h
3 - 5 ετών	10-13 h	8-9h & 14h	<8h & >14h
6 - 13 ετών	9-11 h	7-8h &12h	<7h & >12h
14 - 17 ετών	8-10 h	7h & 11h	<7h & >11h
18 - 25 ετών	7-9 h	6h & 10-11h	<6h & >11h
26 - 64 ετών	7-9 h	6h & 10h	<6h & >10h
65 ετών και πάνω	7-8 h	5-6h & 9h	<5h & >9h

Πίνακας 7.2 Ιδανικές ώρες ύπνου ανά ηλικία[1].

Σημαντικά συμπεράσματα έχουν προκύψει κι από άλλη έρευνα που έχει γίνει σχετικά με τη σύνδεση της διάρκειας του ύπνου με την υγεία του ατόμου και διάφορες ασθένειες.

- Όσον αφορά τη γενική υγεία του ατόμου έχει παρατηρηθεί ότι νέοι ενήλικες που κοιμούνται λιγότερο από 7 ώρες εμφανίζουν αυξημένες αναφορές 'κακής' σωματικής και ψυχικής υγείας, σε σχέση με αυτους που κοιμούνται περισσότερες από 7 ώρες. Οι πρώτοι εμφανίζουν επίσης αυξημένο κίνδυνο ασθένειας σε σχέση με αυτούς που κοιμούνται 7-8 ώρες. Για τα άτομα που κοιμούνται περισσότερες από 9 ώρες δεν υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για συσχέτιση της αυξημένης διάρκειας ύπνου με ανεπιθύμητες καταστάσεις υγείας.

- Αυξημένος είναι επίσης ο κίνδυνος καρδιαγγειακών παθήσεων και υπέρτασης σε άτομα με διάρκεια ύπνου μικρότερη από 6 ώρες. Για αυτούς που κοιμούνται 6-7 και 7-8 ώρες ο κίνδυνος είναι μικρότερος, ωστόσο αναφέρεται ότι η πιθανότητα είναι μεγαλύτερη στους πρώτους. Τα στοιχεία για εμφάνιση καρδιαγγειακών παθήσεων και υπέρτασης σε άτομα που κοιμούνται περισσότερες από 8 ώρες είναι λιγότερα.

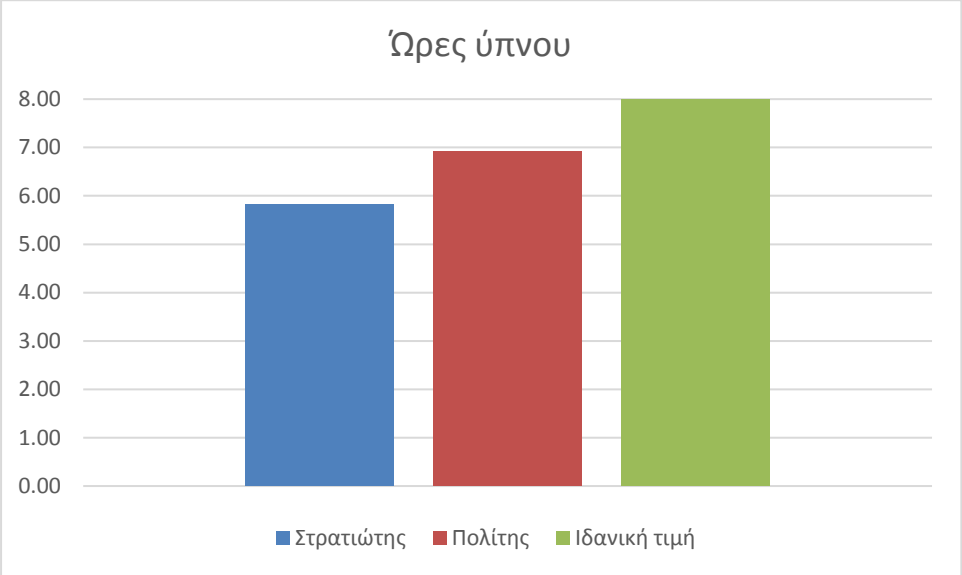
- Ο ύπνος επηρεάζει επίσης τη μεταβολική λειτουργία. Η περιορισμένη διάρκεια ύπνου μειώνει την ευαισθησία στην ινσουλίνη, μειώνει την ανοχή γλυκόζης και αυξάνει τα απογευματινά και βραδινά επίπεδα κορτιζόλης, που είναι ανταγωνιστής της ινσουλίνης. Έπηρεάζει επίσης τα επίπεδα της ορμόνης που ρυθμίζει την πείνα, αυξάνοντας την πείνα και την όρεξη, δημιουργώντας πόθο για γλυκά και αλμυρά σνακ, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμιδικής πρόσληψης και αύξηση του σωματικού βάρους. Με την πάροδο του χρόνου αυτό μπορεί να οδηγήσει σε παχυσαρκία που αποτελεί παράγοντα κινδύνου για μεταβολικό σύνδρομο και διαβήτη. Για αυτούς που κοιμούνται περισσότερες ώρες από το κανονικό δεν υπάρχουν στοιχεία που να οδηγούν σε συγκεκριμένα συμπεράσματα.

- Η σχέση της ψυχικής υγείας με τη διάρκεια του ύπνου δεν είναι ξεκάθαρη, ωστόσο πολλές μελέτες υποστηρίζουν ότι η μικρή διάρκεια ύπνου μπορεί να οδηγήσει σε κατάθλιψη και άλλες ασθένειες.

Στην προσπάθεια να απαντήσει στο ερώτημα πόσο ύπνο χρειάζεται τελικά ένας άνθρωπος ο David Dinges πραγματοποίησε έρευνα στην οποία για δύο εβδομάδες δημιούργησε 3 ομάδες ατόμων, η πρώτη κοιμόταν 4 ώρες, η δεύτερη 6 ώρες και η Τρίτη 8 ώρες ημερησίως. Κατά τη διάρκεια της ημέρας οι ερευνητές τους εξέταζαν ανά 2 ώρες. Το αποτέλεσμα της έρευνας ήταν ότι όσοι κοιμόντουσαν 8 ώρες δεν παρουσίαζαν καμία διάλειψη προσοχής. Όσοι κοιμόντουσαν 4 ή 6 ώρες παρουσίαζαν χειρότερα αποτελέσματα κάθε ημέρα που περνούσε. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι την έκτη μέρα, ο ένας στους τέσσερις από την ομάδα του 6ωρου ύπνου κοιμόταν κατά τη διάρκεια της εξέτασης. Σε παρόμοια έρευνα ο Gregory Belenky παρατήρησε ότι όσοι κοιμόντουσαν 9 ώρες παρουσίαζαν ίδια αποτελέσματα με αυτούς που κοιμόντουσαν 8 ώρες, ενώ αυτοί που κοιμόντουσαν 7 ώρες είχαν επιδόσεις που μειώνονταν για τρεις ημέρες, και στη συνέχεια σταθεροποιούνταν σε μια τιμή κατώτερη της αρχικής.

Ανεξάρτητα από κάθε μελέτη δεν πρέπει να παραβλέπει κανείς τη μοναδικότητα του κάθε οργανισμού. Σύμφωνα με τον Dinges υπάρχει ποσοστό των ανθρώπων, το οποίο εκτιμάται γύρω στο 5% οι οποίοι για γενετικούς λόγους μπορούν να διατηρούν τις επιδόσεις τους με λιγότερες από 5 ώρες ύπνου. Αντίστοιχα, υπάρχει μικρό ποσοστό που χρειάζεται περισσότερες από 9 ώρες ύπνου. Ωστόσο, ο άνθρωπος δεν είναι σε θέση να αντιληφθεί πόσο τον πλήττει η έλλειψη ύπνου και σε πολλές περιπτώσεις θεωρεί ότι λειτουργεί κανονικά ενώ οι επιδόσεις του είναι μειωμένες[27] [28] [2].

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μετρήθηκε ο χρόνος ύπνου του υπό αξιολόγηση ατόμου και υπολογίστηκε η μέση, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή αυτού, τόσο κατά την περίοδο της στρατιωτικής θητείας, όσο και μετά το πέρας αυτής. Για την στρατιωτική θητεία προέκυψε ότι το άτομο κοιμόταν κατά μέσο όρο για 5 ώρες και 50 λεπτά την ημέρα, παρουσιάζοντας ελάχιστη τιμή τις 2 ώρες και 19 λεπτά και μέγιστη 8 ώρες και 52 λεπτά. Οι αντίστοιχες τιμές μέτα το τέλος της στρατιωτικής θητείας ήταν 6 ώρες και 55 λεπτά κατά μέσο όρο, με 4 ώρες και 24 λεπτά ελάχιστη και 8 ώρες και 23 λεπτά μέγιστη τιμή. Στο διάγραμμα 7.11 που ακολουθεί παρουσιάζονται σχηματικά τα παραπάνω στοιχεία.



Διάγραμμα 7.11 Δεδομένα καταγραφής ύπνου.

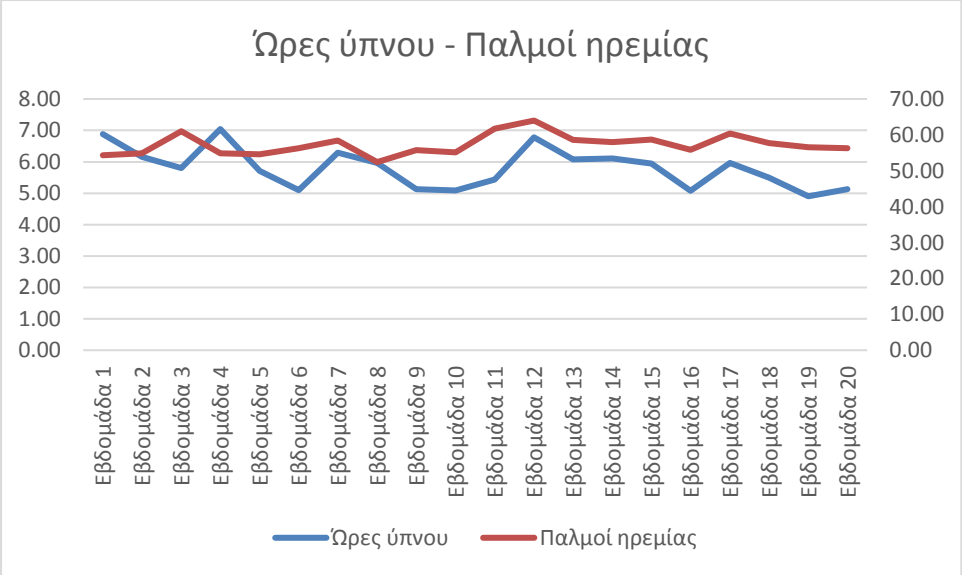
Με βάση τα στοιχεία του εθνικού οργανισμού για τον ύπνο, όπως προκύπτει από τον πίνακα 7.2, η συνιστώμενη ποσότητα ύπνου για την ηλικία του ατόμου που αξιολογήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι οι 7 εως 9 ώρες ημερησίως. Ορίζει επίσης τις 6 ώρες ως ελάχιστη και τις 10 ώρες ως μέγιστη τιμή σε ορισμένες περιπτώσεις ανθρώπων[1]. Στο παραπάνω διάγραμμα για ευκολότερη σύγκριση ορίστηκαν οι 8

[27] https://www.tovima.gr/2011/04/21/society/poses-wres-ypnoy-xreiazomaste/
[28]https://www.onmed.gr/ygeia/story/325613/idanikes-ores-ypnou-ana-ilikia-—-i-nea-odigia-pinakas

ώρες ως ιδανική τιμή. Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι το άτομο και στις δύο περιόδους κοιμόταν λιγότερο από το ιδανικό, και εκτός συνιστώμενου εύρους. Κατά τη στρατιωτική θητεία το πρόβλημα αυτό ήταν εμφανώς εντονότερο με την τιμή που υπολογίστηκε (5:50) να είναι εκτός του εύρους των 7-9 ωρών αλλά και μικρότερη από την ελάχιστη τιμή (6 ώρες) που ορίζει ο οργανισμός για μεμονωμένες περιπτώσεις. Αντίστοιχα, για την περίοδο μετά το πέρας της στρατιωτικής περιόδου, ο μέσος χρόνος ύπνου (6:55) ήταν και πάλι λιγότερος, έστω και οριακά, από το ενδεικνύμενο εύρος. Προκύπτει επομένως για την στρατιωτική θητεία ότι το άτομο κοιμάται κατά περισσότερο από μία ώρα λιγότερο την ημέρα σε σχέση με την καθημερινή ζωή εκτός στρατού. Η διαφορά αυτή δεν είναι διόλου ευκαταφρόνητη αφού αποτελεί περίπου το 15% του συνολικού ύπνου.

7.3.1 Ώρες Ύπνου – Παλμοί Ηρεμίας

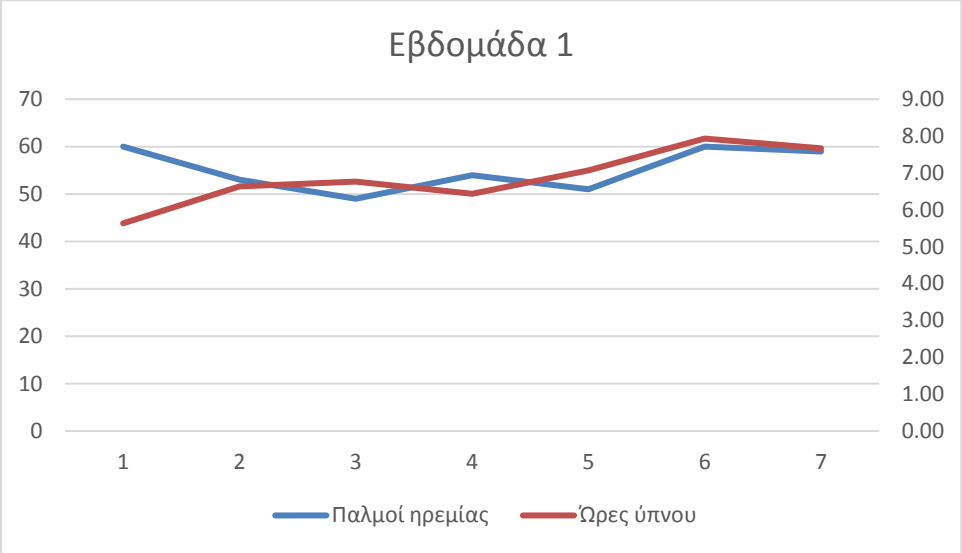
Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το επίπεδο της φυσικής κατάστασης ενός ανθρώπου συνδέεται με τους παλμούς ηρεμίας του. Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που τους επηρεάζουν. Στο σημείο αυτό μελετάται, για την περίοδο της στρατιωτικής θητείας, η σχέση του χρόνου που κοιμόταν το άτομο με τους παλμούς ηρεμίας του.



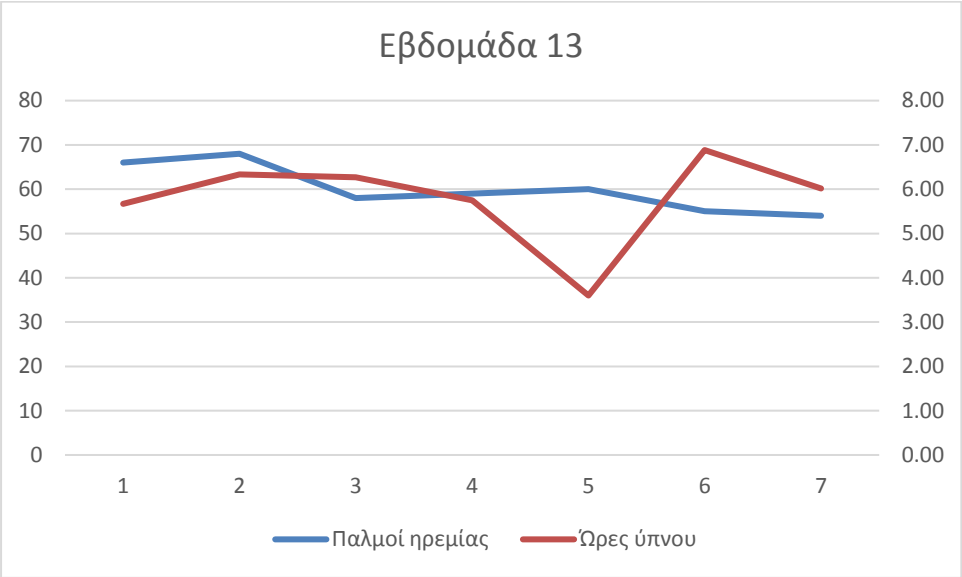
Διάγραμμα 7.12 Σύνδεση παλμών ηρεμίας με ώρες ύπνου.

Στο διάγραμμα 7.12 έχουν σχεδιαστεί σε κοινό σύστημα αξόνων οι μέσες εβδομαδιαίες τιμές για τις ώρες ύπνου και τους καρδιακούς παλμους κατά την ηρεμία. Θα περίμενε κανείς ότι αν υπήρχε κάποια σύνδεση μεταξύ τους οι γραφικές τους παραστάσεις θα ήταν αντιστρόφως ανάλογες. Με βάση αυτή τη λογική, όπου έχει καταγραφεί χαμηλή ποσόστητα ύπνου θα έπρεπε οι καρδιακοί παλμοι ηρεμίας

να είναι αυξημένοι και αντίστροφα. Ωστόσο, από το διάγραμμα δεν προκύπτει να υπάρχει τέτοια σύνδεση.



Διάγραμμα 7.13 Παλμοί ηρεμίας – Ώρες ύπνου κατά την Εβδομάδα 1.



Διάγραμμα 7.14 Παλμοί ηρεμίας – Ώρες ύπνου κατά την Εβδομάδα 13.

Το διάγραμμα 7.12 κατασκευάστηκε λαμβάνοντας υπ' όψιν εβδομαδιαίες τιμές. Για την μείωση πιθανών σφαλμάτων και την αποφυγή εξαγωγής λανθασμένων συμπερασμάτων κατασκευάστηκαν επίσης τα αντίστοιχα διαγράμματα 7.13 και 7.14 με ημερήσιες καταγραφές για δυο τυχαίες εβδομάδες. Από αυτά επιβεβαιώνεται ότι δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ των παλμών ηρεμίας με τον χρόνο που κοιμάται το άτομο.

7.4 Βιβλιογραφία κεφαλαίου

[1] Hirshkowitz, Whiton, Albert, Alessi, Bruni, DonCarlos, Hazen, Herman, Katz, Gozal, Neubauer, O'Donnell, Ohayon, Peever, Rawding, Sachdeva, Setters, Vitiello, Ware, Hillard, "National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary," in Sleep Health : Journal of the National Sleep Foundation, Volume 1, Issue, 1, pp 40-43, March 2015.

[2] Nathaniel F. Watson, M. Safwan Badr, Gregory Belenky, Donald L. Bliwise, Orfeu M. Buxton, Daniel Buysse, David F. Dinges, James Gangwisch, Michael A. Grandner, Clete Kushida, Raman K. Malhotra, Jennifer L. Martin, Sanjay R. Patel, Stuart F. Quan, and Esra Tasali, "Joint Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society on the Recommended Amount of Sleep for a Healthy Adult: Methodology and Discussion," in Journal of Clinical Sleep Medicine, Volume 11, Issue 8, pp 931-952, August 2015.

[3] Magee L, Hale L, "Longitudinal associations between sleep duration and subsequent weight gain: a systematic review," in Sleep Medicine Reviews, Volume 16, Issue 3, pp 231-241, June 2012.

[4] Spaeth A, Dinges D, Goel N, "Effects of Experimental Sleep Restriction on Weight Gain, Caloric Intake, and Meal Timing in Healthy Adults," in Sleep, Volume 36, Issue 7, pp981-990, July 2013.

8. Συμπεράσματα – Περιορισμοί

Συμπεράσματα

Με βάση τη μελέτη που έγινε, εξήχθησαν τα ακόλουθα χρήσιμα συμπεράσματα:

- Ένα άτομο κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής του θητείας στην Ελλάδα πραγματοποιεί κατά 35% περισσότερα βήματα ημερησίως σε σχέση με την κανονική του ζωή.
- Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου καταναλώνει περίπου 23% περισσότερες θερμίδες ημερησίως.
- Οι καρδιακοί του παλμοί κατά την ηρεμίας δεν παρουσιάζουν σημαντική μεταβολή.
- Ο χρόνος που κοιμάται ημέρησίως ένας στρατιώτης του ελληνικού στρατού είναι αρκετά λιγότερος τόσο από τον ιδανικό ημερήσιο χρόνο που πρέπει να κοιμάται ένας άνθρωπος, όσο και από το μέσο χρόνο που κοιμάται το ίδιο άτομο εκτός στρατού.
- Κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας σημειώνεται αύξηση του σωματικού βάρους του ατόμου της τάξης του 2,72%.
- Το ηλεκτροκαρδιογράφημα και το υπερηχοκαρδιογράφημα δεν παρουσιάζουν καμία μεταβολή.

Περιορισμοί

Τα παραπάνω συμπεράσματα ενδέχεται να παρουσιάζουν ανακρίβειες οι οποίες οφείλονται κυρίως στα εξής:

- Σφάλματα στην ακρίβεια των δεδομένων που καταγράφηκαν από τη συσκευή Garmin Vivosmart HR.
- Λανθασμένες εκτιμήσεις της συσκευής Garmin Vivosmart HR σε παραμέτρους όπως η κατανάλωση θερμίδων, ο χρόνος ύπνου και ο αριθμός των βημάτων που πραγματοποίσε ο χρήστης.
- Η παρακολούθηση και μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένα άτομο. Επομένως ως μελλοντική έρευνα προτείνεται να πραγματοποιηθεί παρόμοια μελέτη σε μεγαλύτερο αριθμό ατόμων.

9. Μελλοντική Έρευνα

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει περιθώρια συμπληρωματικής μελέτης για εξαγωγή γενικότερων και ακριβέστερων συμπερασμάτων. Ως εκ τούτου, προτείνεται να πραγματοποιηθεί αντίστοιχη μελέτη, στην οποία η παρακολούθηση και καταγραφή των δεδομένων θα πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο αριθμό ατόμων. Άλλη μια διαφοροποίηση που προτείνεται αφορά την επιλογή των αισθητήρων ανίχνευσης των φυσιολογικών σημάτων ώστε τα δεδομένα που συλλέγονται να είναι ακριβέστερα. Τα παραπάνω θα οδηγήσουν σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Παρόμοια μελέτη με χρήση wearable συσκευών μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί σε αθλητές υψηλού επιπέδου στους οποίους η αξιολόγηση των φυσιολογικών παραμέτρων και της κινηματικής του σώματος κατά την άσκηση βοηθάει τόσο στον ορθό προγραμματισμό της προπόνησης με στόχο τη βελτίωση του αθλητή όσο και στην πρόβλεψη της απόδοσής του σε επικείμενους αγώνες.

Wearable συσκευές παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού, του ρυθμού της αναπνοής, του γαλακτικού οξέως μπορούν να εφαρμοστούν σε ερασιτέχνες και επαγγελματίες δρομείς διαφόρων αποστάσεων για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού αναλόγως την απόσταση και το επίπεδο φυσικής κατάστασης του αθλητή.

Τέλος, είτε ανεξάρτητα είτε σε συνδυσμό με κάποια από τις παραπάνω προτάσεις και με τη βοήθεια κατάλληλων αισθητήρων και συσκεύων προτείνεται να πραγματοποιηθεί μέτρηση και αξιολόγηση του ιδρώτα σε δείγμα ανθρώπων. Ο ιδρώτας περιέχει βασικά μόρια και ιόντα και έτσι μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη φυσιολογική κατάσταση του ατόμου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακες Δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας:

	Βήματα	Παλμοί (bpm)	Θερμίδες (cal)	Ώρες ύπνου (h)
Ημέρα 1	30458	60	2465	5,63
Ημέρα 2	17469	53	2406	6,63
Ημέρα 3	12370	49	1909	6,77
Ημέρα 4	12160	54	2127	6,43
Ημέρα 5	14645	51	2005	7,07
Ημέρα 6	14839	60	2800	7,93
Ημέρα 7	17879	59	3316	7,67
Ημέρα 8	9950	54	2595	5,68
Ημέρα 9	13679	54	3345	5,60
Ημέρα 10	14661	56	2601	6,47
Ημέρα 11	21423	55	3293	6,88
Ημέρα 12	17565	54	2875	6,53
Ημέρα 13	21958	57	4050	6,23
Ημέρα 14	6391	58	2271	6,97
Ημέρα 15	16282	50	3437	4,43
Ημέρα 16	14871	54	3144	5,92
Ημέρα 17	7032	57	2372	6,87
Ημέρα 18	7761	68	2361	4,30
Ημέρα 19	8861	61	2348	7,10
Ημέρα 20	29406	61	5564	2,80
Ημέρα 21	15343	59	3490	8,85
Ημέρα 22	28017	67	5668	4,78
Ημέρα 23	14301	66	2944	8,87
Ημέρα 24	7073	47	2496	4,87
Ημέρα 25	13889	51	2567	8,07
Ημέρα 26	16627	52	3422	7,08
Ημέρα 27	29714	59	4240	6,58
Ημέρα 28	18181	58	2546	7,42
Ημέρα 29	25462	51	3148	6,42
Ημέρα 30	8671	58	2466	6,78
Ημέρα 31	8255	53	2612	6,30
Ημέρα 32	12966	53	2934	5,87
Ημέρα 33	11342	55	3234	2,88
Ημέρα 34	15030	56	2770	4,60
Ημέρα 35	22255	55	3072	7,28
Ημέρα 36	12745	52	2751	6,22

Ημέρα 37	14323	58	3160	3,17
Ημέρα 38	10065	56	3181	5,92
Ημέρα 39	16796	56	3075	4,32
Ημέρα 40	21555	61	3268	2,32
Ημέρα 41	12245	52	2985	5,43
Ημέρα 42	16428	47	2685	7,42
Ημέρα 43	9519	64	3150	7,10
Ημέρα 44	36345	66	5010	4,63
Ημέρα 45	18725	69	2666	4,67
Ημέρα 46	5104	53	2206	8,42
Ημέρα 47	10732	57	2884	6,25
Ημέρα 48	7480	54	2261	7,47
Ημέρα 49	16393	55	2318	6,23
Ημέρα 50	23708	55	4958	6,37
Ημέρα 51	8403	55	2365	6,35
Ημέρα 52	15263	55	2626	4,30
Ημέρα 53	21780	51	2592	7,22
Ημέρα 54	14447	54	2638	6,33
Ημέρα 55	28943	47	3174	3,75
Ημέρα 56	18977	53	2414	7,68
Ημέρα 57	10719	52	2358	6,13
Ημέρα 58	29646	59	3559	2,57
Ημέρα 59	9355	56	1499	6,40
Ημέρα 60	23548	55	3489	3,50
Ημέρα 61	24486	56	3350	6,92
Ημέρα 62	26764	58	3366	6,43
Ημέρα 63	13063	56	2383	6,55
Ημέρα 64	16179	50	2445	3,50
Ημέρα 65	14826	54	2507	5,53
Ημέρα 66	26784	56	3215	2,98
Ημέρα 67	18241	57	2681	6,00
Ημέρα 68	29771	48	2937	3,40
Ημέρα 69	11630	62	2477	4,78
Ημέρα 70	19862	54	3654	6,87
Ημέρα 71	12468	55	2996	6,07
Ημέρα 72	14328	66	3903	3,40
Ημέρα 73	15551	59	2878	6,10
Ημέρα 74	13816	59	3396	6,83
Ημέρα 75	17998	57	3784	8,10
Ημέρα 76	14609	56	3082	4,73
Ημέρα 77	14366	63	2704	5,50
Ημέρα 78	12223	72	2602	3,38
Ημέρα 79	26996	63	3556	8,68
Ημέρα 80	18284	69	3038	5,67

Ημέρα 81	12870	62	2584	7,60
Ημέρα 82	16410	69	2597	6,78
Ημέρα 83	11484	55	2444	6,37
Ημέρα 84	12633	64	2412	6,70
Ημέρα 85	25955	66	4315	5,67
Ημέρα 86	18776	68	2521	6,33
Ημέρα 87	12150	58	1703	6,27
Ημέρα 88	10324	59	2728	5,75
Ημέρα 89	18379	60	3653	3,60
Ημέρα 90	26378	55	2986	6,88
Ημέρα 91	22195	54	2632	6,02
Ημέρα 92	5611	56	1378	7,70
Ημέρα 93	15324	60	3265	3,38
Ημέρα 94	10410	57	2531	8,08
Ημέρα 95	7081	50	2230	4,78
Ημέρα 96	17105	57	2510	5,78
Ημέρα 97	11249	58	2499	6,02
Ημέρα 98	14645	57	4238	7,57
Ημέρα 99	14912	67	2738	7,13
Ημέρα 100	16525	58	2465	5,97
Ημέρα 101	14841	53	2615	6,12
Ημέρα 102	17200	52	2505	6,72
Ημέρα 103	17130	67	3482	7,27
Ημέρα 104	11546	58	879	6,32
Ημέρα 105	17210	68	3577	2,47
Ημέρα 106	13197	55	2392	6,78
Ημέρα 107	10844	46	2096	6,90
Ημέρα 108	13285	49	2572	5,53
Ημέρα 109	11927	61	1950	3,40
Ημέρα 110	15768	56	2924	5,30
Ημέρα 111	13047	54	3102	6,20
Ημέρα 112	20940	62	2556	4,58
Ημέρα 113	5173	63	2856	3,65
Ημέρα 114	17714	64	3158	5,32
Ημέρα 115	9954	68	2302	5,37
Ημέρα 116	10905	60	2381	6,93
Ημέρα 117	11226	59	3515	5,65
Ημέρα 118	20489	59	3023	7,48
Ημέρα 119	6462	69	3338	4,43
Ημέρα 120	18632	44	2787	6,60
Ημέρα 121	9385	50	2172	8,55
Ημέρα 122	13778	53	2336	3,38
Ημέρα 123	16434	56	2615	7,33
Ημέρα 124	29014	59	3075	4,12

Ημέρα 125	12429	59	1914	5,23
Ημέρα 126	14819	57	3363	6,23
Ημέρα 127	3832	70	1082	3,60
Ημέρα 128	13674	55	2223	5,02
Ημέρα 129	12625	57	1922	5,38
Ημέρα 130	22626	61	3532	3,27
Ημέρα 131	25666	61	2848	2,98
Ημέρα 132	6991	55	2307	6,37
Ημέρα 133	17203	58	2469	5,12
Ημέρα 134	8744	49	2670	6,18
Ημέρα 135	19768	58	3271	3,20
Ημέρα 136	19034	54	2612	6,65
Ημέρα 137	23925	55	2937	3,82
Ημέρα 138	14263	54	2559	6,07
Ημέρα 139	26173	57	2873	6,40
Ημέρα 140	22293	46	2917	7,05

	Λεπτά έντασης
Εβδομάδα 1	464
Εβδομάδα 2	954
Εβδομάδα 3	1027
Εβδομάδα 4	1245
Εβδομάδα 5	629
Εβδομάδα 6	682
Εβδομάδα 7	814
Εβδομάδα 8	1020
Εβδομάδα 9	1561
Εβδομάδα 10	1317
Εβδομάδα 11	1006
Εβδομάδα 12	1097
Εβδομάδα 13	1021
Εβδομάδα 14	760
Εβδομάδα 15	880
Εβδομάδα 16	394
Εβδομάδα 17	1122
Εβδομάδα 18	924
Εβδομάδα 19	795
Εβδομάδα 20	1333

Μετά το πέρας της στρατιωτικής θητείας:

	Βήματα	Παλμοί (bpm)	Θερμίδες (cal)	Ώρες ύπνου (h)
Ημέρα 162	8471	70	1114	6,75
Ημέρα 163	12023	67	1887	6,80
Ημέρα 164	8975	58	2703	5,53
Ημέρα 165	10862	55	2298	4,40
Ημέρα 166	6974	55	2326	6,43
Ημέρα 167	8654	50	2659	6,28
Ημέρα 168	6495	60	3016	8,38
Ημέρα 169	12839	66	2178	7,23
Ημέρα 170	5506	53	2204	7,53
Ημέρα 171	6740	58	2298	5,75
Ημέρα 172	21619	55	2783	6,15
Ημέρα 173	17709	59	2419	7,03
Ημέρα 174	6942	56	1108	7,25
Ημέρα 175	13197	55	2425	6,78
Ημέρα 176	10844	46	2114	6,90
Ημέρα 177	6206	56	2096	5,58
Ημέρα 178	9074	59	2321	6,40
Ημέρα 179	8040	52	2130	7,38
Ημέρα 180	7350	54	2261	7,20
Ημέρα 181	17724	57	3784	5,38
Ημέρα 182	12861	64	2412	6,95