



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Βιοαισθητήρες μέτρησης βιοσημάτων μέσω ανάλυσης  
σωματικών εκκρίσεων και εφαρμογές στον τομέα της υγείας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΑ-ANNA Π. ΤΣΑΤΣΟΥΛΗ**

**Επιβλέπων :** Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Βιοαισθητήρες μέτρησης βιοσημάτων μέσω ανάλυσης  
σωματικών εκκρίσεων και εφαρμογές στον τομέα της υγείας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΑ-ANNA Π. ΤΣΑΤΣΟΥΛΗ**

**Επιβλέπων :** Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14η Νοεμβρίου 2019.

.....

Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Ματσόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Παναγιώτης Τσανάκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2019

.....  
ΓΕΩΡΓΙΑ-ANNA Π. ΤΣΑΤΣΟΥΛΗ

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

Copyright © Γεωργία-Άννα Τσατσούλη, 2019.

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 προϋπόθεση 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 τον 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.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας ασχολήθηκα με τους αισθητήρες και ειδικότερα με τους βιοαισθητήρες που συγκεντρώνουν μη-επεμβατικά βιοσήματα μέσω του ιδρώτα.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αισθητήρες με μεγαλύτερη έμφαση στους βιοαισθητήρες. Ταυτόχρονα, γίνεται εκτενής αναφορά στα είδη των βιοσημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περνάμε στην παρουσίαση των ηλεκτρονικά ενεργοποιούμενων φορετών αισθητήρων και των μη ηλεκτρονικών φορετών αισθητήρων. Η γενικότερη κατηγορία των ηλεκτρονικών φορετών αισθητήρων παρουσιάζεται ξεχωριστά στο τρίτο κεφάλαιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο τονίζεται η σημασία του ιδρώτα ως μέσο για τη μέτρηση βιοσημάτων με μη-επεμβατικό τρόπο. Εξάλλου, στις ίδιες διαδικασίες βασίζονται και οι μη-επεμβατικοί επιλεκτικοί αισθητήρες όπως είναι ο ενζυμικός και ο μη-ενζυμικός. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση κάποιων φορετών-wearables συσκευών που ήδη είναι εμπορικά διαθέσιμοι και αφορούν τον τομέα της υγείας. Παράλληλα, το έβδομο κεφάλαιο δίνει έμφαση στις ιδιότητες των συσκευών που παρουσιάζονται στο έκτο κεφάλαιο.

Το όγδοο κεφάλαιο περιέχει περισσότερες έννοιες χημείας αφού εστιάζει στο γαλακτικό οξύ που παράγεται από τον ιδρώτα. Ειδικότερα, εξετάζουμε την κατηγορία 'συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ανάλογα με το είδος άσκησης' και την κατηγορία 'συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στα ούρα ανάλογα με το είδος άσκησης'. Το ένατο κεφάλαιο αποτελεί μία βιβλιογραφική ανασκόπηση των φορετών συσκευών στον αθλητισμό ενώ το δέκατο συνοψίζει τα συμπεράσματα και τις επεκτάσεις της εργασίας.

**Λέξεις Κλειδιά:** Αισθητήρες, Ιδρώτας, Γαλακτικό Οξύ, Wearables

**ABSTRACT:**

In my thesis I have dealt with sensors and in particular biosensors that collect non-invasive biosensors through sweat.

The first chapter presents the sensors with more emphasis on biosensors. At the same time, extensive reference is made to the species of biomass.

In the second chapter we present the introduction of electronically activated wearable sensors and non-electronic wearable sensors. The general category of electronic wearable sensors is presented separately in Chapter Three.

The fourth chapter emphasizes the importance of sweat as a means of measuring non-invasive biomass. Non-invasive selective sensors such as enzymatic and non-enzymatic are based on the same processes. The sixth chapter introduces some wearable devices that are already commercially available in the health sector. At the same time, the seventh chapter emphasizes the properties of the devices presented in the sixth chapter.

Chapter eight contains more concepts of chemistry as it focuses on the lactic acid produced by sweat. Specifically, we examine the category 'lactic acid concentration in the blood by exercise' and the 'lactic acid concentration in the urine by exercise' category. The ninth chapter is a bibliographical overview of wearable devices in sport, while the tenth summarizes the conclusions and extensions of the work.

**KeyWords:** Sensors, Sweat, Lactic Acid, Wearables

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα άτομα τα οποία με βοήθησαν και με στήριξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Πρώτα από όλα, ευχαριστώ ιδιαίτερω τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Κουτσούρη, που με εμπιστεύτηκε με την παρούσα διπλωματική εργασία και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με αυτό το θέμα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στην δρα Ελευθερία Βελλίδου, για την πολύτιμη βοήθειά της, την καθοδήγηση που μου προσέφερε και τον χρόνο που αφιέρωσε. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου και την αδερφή μου, που ήταν πάντα δίπλα μου και στήριζαν τις προσπάθειες και τις επιλογές μου. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και τους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου κατά της διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, για την αγάπη τους, την υποστήριξή τους και την κατανόηση που μου έδειξαν.





## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ:

<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Αισθητήρες</b> .....	<b>14</b>
1.1 Βιοαισθητήρες.....	15
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή των Βιοαισθητήρων .....	16
1.1.2 Ορισμός Βιοαισθητήρα.....	16
1.1.3 Ιδιότητες ενός Ιδανικού Βιοαισθητήρα.....	17
1.1.4 Πού χρησιμοποιούνται οι βιοαισθητήρες .....	20
1.1.5 Είδη Βιοσημάτων.....	25
<b>2. Ηλεκτρονικά ενεργοποιούμενοι φορητοί αισθητήρες (Electronically-enabled wearable sensors) και μη ηλεκτρονικοί φορητοί αισθητήρες (Non-Electronic wearable sensors)</b> .....	<b>30</b>
<b>3. Ηλεκτρονικοί φορητοί αισθητήρες (Electronic wearable sensors)</b> .....	<b>33</b>
3.1 Βαθμοί ολοκλήρωσης αισθητήρων .....	33
3.2 Δίκτυα Αισθητήρων .....	37
<b>4. Ο ιδρώτας ως μέσο για τη μέτρηση βιοσημάτων με μη-επεμβατικό τρόπο</b> .....	<b>39</b>
<b>5. Μη-επεμβατικοί επιλεκτικοί αισθητήρες</b> .....	<b>44</b>
5.1 Ενζυμικός αισθητήρας .....	44
5.2 Ο μη-ενζυμικός αισθητήρας.....	44
5.3 Σχεδίαση μικρορευματικών επιδέσμων .....	47
5.4 Δειγματοληψία στον ιδρώτα .....	47
<b>6. Παραδείγματα Φορητών (Wearable) Εφαρμογών στην Υγεία</b> .....	<b>50</b>
<b>7. Ιδιότητες Φορητών (Wearable) Συστημάτων Παρακολούθησης</b> .....	<b>55</b>
<b>8. Το γαλακτικό οξύ</b> .....	<b>57</b>
8.1 Η χρησιμότητα του γαλακτικού οξέος στον αθλητισμό .....	59
8.2 Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ανάλογα με το είδος άσκησης ...	61
8.3 Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ανάλογα με το είδος άσκησης ...	62
<b>9. Εφαρμογές Φορητών Συσκευών στον Αθλητισμό</b> .....	<b>65</b>
9.1 Εργομετρικά Τεστ .....	68
9.2 Είδη φορητών συσκευών στον αθλητισμό .....	69
<b>10. Συμπεράσματα</b> .....	<b>75</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ:</b> .....	<b>79</b>

## **ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ:**

<b>Εικόνα 4.1</b> Οι αδένες του Δέρματος .....	39
<b>Εικόνα 6.1</b> Φορητοί Αισθητήρες και Σημεία Εφαρμογής.....	51
<b>Εικόνα 6.2</b> Wearables αισθητήρων θα μπορούν να αναλύσουν και να μετρήσουν τη θερμοκρασία του δέρματος, και τα επίπεδα των μεταβολιτών και των ηλεκτρολυτών στον ανθρώπινο ιδρώτα .....	52
<b>Εικόνα 6.2</b> Ηλεκτρονικό Τατουάζ φορητής εφαρμογής για εγκύους.....	53
<b>Εικόνα 7.1</b> Οι έξι ιδιότητες των φορητών συσκευών.....	55
<b>Εικόνα 8.1</b> Ισομερείς μορφές Γαλακτικού Οξέος.....	57

## Εισαγωγή

Τη σημερινή εποχή η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων έχει μία προηγμένη μορφή αφού με τη χρήση ενός κινητού τηλεφώνου ή ενός προσωπικού υπολογιστή είναι δυνατή η μεταφορά εικόνας και ήχου πάνω από ένα κοινό δίκτυο. Με τον όρο δίκτυα ορίζεται η σύνδεση («δικτύωση») διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών (τηλεφώνων, υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων κτλ) με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων.

Από την εισαγωγή της παρακολούθησης της καρδιάς στην αθλητική επιστήμη στα μέσα της δεκαετίας του '70, έχουν προταθεί και εισάγονται αρκετές συσκευές για την προώθηση του ενεργού τρόπου ζωής, την παρακολούθηση των αθλητών κατά τη διάρκεια της άσκησης ή τη βοήθεια των αθλητών στην εκπαίδευσή τους, και ζώνες θωρακικής ζώνης παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού, με προσεγγίσεις βασισμένες σε MEMS (ακρελιομετρία, γυροσκόπια, μαγνητόμετρα) και GPS. Το τελευταίο σε συνδυασμό με εφαρμογές λογισμικού οδήγησαν τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα με την τεχνολογία αισθητήρων φορητού υπολογιστή που κερδίζει έδαφος και δημοτικότητα στον αθλητισμό. Είναι διαθέσιμοι αισθητήρες για την παρακολούθηση του ρυθμού παλμών των αθλητών, της πίεσης του αίματος, του ηλεκτροκαρδιογραφήματος και του ηλεκτρομυογραφήματος, του αναπνευστικού ρυθμού, της θερμοκρασίας του σώματος, του οξυγόνου στο αίμα, των επιπέδων γλυκόζης, της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος για την ανίχνευση των φυσιολογικών αποκρίσεων στην άσκηση [1].

Τα τελευταία έτη η εξέλιξη των ηλεκτρονικών συσκευών πληροφοριών και των επικοινωνιών είναι τα κινητά τηλέφωνα, οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (personal digital assistants), οι υπολογιστές ταμπλέτες (tablets), οι ψηφιακές βιντεοκάμερες και οι φορητές μηχανές παιχνιδιών (3D playstation).

Αυτή η εξέλιξη είναι ταχύτατη και προσφέρει μεγάλες ευκολίες στην καθημερινότητά μας, όσο αναφορά την επικοινωνία, την εργασία, την διασκέδαση, την υγεία, και σε πολλούς ακόμα τομείς. Στο κοντινό μέλλον, οι συσκευές αυτές θα μπορούν να τοποθετούνται πάνω στο σώμα μας, με τη μορφή φορητών συσκευών που θα ενσωματώνονται είτε στο ρουχισμό του χρήστη είτε ακόμα και στο σώμα, βελτιώνοντας της καθημερινότητάς μας και δημιουργώντας μας νέες προσδοκίες για

το μέλλον. Οι φορετές αυτές συσκευές οδηγούν σε μια σχετικά καινούρια και ενδιαφέρουσα περιοχή, που αφορά τις Επικοινωνίες, με επίκεντρο το ανθρώπινο σώμα [2].

Τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών με επίκεντρο το ανθρώπινο σώμα, χρησιμοποιούν το σώμα του χρήστη, ως το περιβάλλον που υποστηρίζει την επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων συσκευών πάνω στο σώμα [3].

Σε αυτής της μορφής τις επικοινωνίες, ένας αριθμός κόμβων τοποθετείται πάνω στο σώμα ή σε κοντινή απόσταση από αυτό, επικοινωνώντας μεταξύ τους ή με τους κόμβους που είναι τοποθετημένοι μακριά από το σώμα όπως, σταθμοί βάσης, κεντρικές συσκευές αποθήκευσης δεδομένων, κεντρικές μονάδες επεξεργασίας και άλλες μορφές απομακρυσμένων κόμβων.

Ένα πολύ σημαντικό θέμα όσον αφορά τις φορετές (wearable) συσκευές είναι η διασύνδεσή τους. Η σύνδεσή τους μέσω καλωδίων δεν είναι μια εφικτή επιλογή, καθώς μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες και να εμποδίσει την φυσιολογική κίνηση του σώματος.

Υπάρχουν κι άλλες επιλογές, όπως είναι η χρήση ειδικών υφασμάτων και κλωστών, αλλά καθώς αυτό υπονοεί τη δημιουργία εξειδικευμένων ενδυμάτων, η συνεχής χρήση των ειδικών αυτών ρούχων μπορεί να μην είναι ό,τι καλύτερο για τον χρήστη. Υπάρχουν και άλλες δύο μέθοδοι, ο μηχανισμός ρεύματος του σώματος (body current mechanism) και η επικοινωνία κοντινού, επαγωγή μαγνητικού πεδίου όμως οι δύο αυτές τεχνικές έχουν τους περιορισμούς τους και δεν είναι κατάλληλες για εφαρμογές υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων όπως είναι η μετάδοση βίντεο και πολυμέσων. Σε αυτές τις περιπτώσεις καλύτερη επιλογή θεωρείται η ασύρματη σύνδεση των συσκευών μέσω κεραιών [4], [5].

Υπάρχουν διάφορα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για τις ασύρματες συνδέσεις, όπως τα πρότυπα: WLAN, Wifi , Bluetooth, BodyLAN και UWB [6], [7].

Τα τελευταία χρόνια το πρότυπο του Bluetooth έχει γίνει πολύ δημοφιλές εξαιτίας των εφαρμογών των κινητών τηλεφώνων, παρόλα αυτά ένα σημαντικό μειονέκτημα που παρουσιάζουν, είναι η κατανάλωση πολύ μεγάλης ποσότητας ισχύος της μπαταρίας. Η μελέτη των ασύρματων BAN περιλαμβάνει αρκετά θέματα μεταξύ των οποίων είναι ο σχεδιασμός και η αποδοτικότητα της κεραίας, ο χαρακτηρισμός του

καναλιού, η ισχύς εκπομπής και η επίδραση της παρουσίας και της κίνησης του ανθρώπινου σώματος. Οι φορητές συσκευές απαιτείται να είναι μικρές και ελαφριές και να υποστηρίζουν αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Τέλος η κατανάλωση ισχύος αυτών των συσκευών πρέπει να είναι μικρή, συνεπώς απαιτείται η χρήση υψηλών συχνοτήτων και αποδοτικών ζεύξεων. Η γνώση των ηλεκτρομαγνητικών ιδιοτήτων του ανθρώπινου σώματος είναι ουσιαστική για τον αποδοτικό σχεδιασμό και την κατανόηση των καναλιών [7].

## 1. Αισθητήρες

Οι τύποι των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της δραστηριότητας κυμαίνονται από σχετικά απλούς αισθητήρες με διακριτή έξοδο, όπως διακόπτες με σφαιρίδια ή συσκευές ανάγνωσης ετικετών RFID, σε αισθητήρες συνεχούς παραγωγής όπως επιταχυνσιόμετρα με πιο σύνθετες μεθόδους ανίχνευσης όπως η επεξεργασία ήχου και οραματισμό με υπολογιστή. Άλλοι, λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι αισθητήρων που έχουν προταθεί περιλαμβάνουν οπτικούς αισθητήρες για τη μέτρηση της στάσης, αισθητήρες πίεσης αφρού για τη μέτρηση του ρυθμού αναπνοής, δυνάμεις ευαίσθητες στη δύναμη για τη μέτρηση των συστολών των μυών και διάφορα είδη φυσιολογικών αισθητήρων όπως αισθητήρες οξυμετρίας, αισθητήρες αγωγιμότητας δέρματος, ηλεκτροκαρδιογραφήματα, αισθητήρες θερμοκρασίας σώματος και συνδυασμοί αυτών. Τα επιταχυνσιόμετρα είναι ίσως ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος αισθητήρα για αναγνώριση δραστηριότητας ανάμεσα σε αισθητήρες που μπορούν να φορεθούν. Εκτός από το γεγονός ότι συνήθως οδηγούν σε καλά αποτελέσματα στην αναγνώριση των σωματικών δραστηριοτήτων, είναι μικροί και φθηνοί, απαιτούν σχετικά μικρή ενέργεια, μνήμη και ισχύ επεξεργασίας και είναι αρκετά ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, οι χρήστες θεωρούν τα επιταχυνσιόμετρα μερικές φορές λιγότερο ενοχλητικά από τους άλλους αισθητήρες, όπως τα μικρόφωνα ή οι κάμερες [8].

Μια άλλη προσέγγιση για την αναγνώριση της δραστηριότητας βασίζεται στη χρήση αντικειμένων. Σε αυτή τη μέθοδο οι χρήστες τοποθετούν αντικείμενα στο περιβάλλον με ετικέτες RFID και χρησιμοποιούν δεδομένα από έναν φορητό αναγνώστη ετικετών RFID για την εξαγωγή οικιακών δραστηριοτήτων (όπως προετοιμασία φαγητού, πλύσιμο ρούχων, πλύσιμο πιάτων κλπ.). Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους που βασίζονται σε Δυναμικά Bayesian Networks είναι κατ' αρχήν πολύ ευέλικτες, αν και η χρήση ετικετών RFID περιορίζει τις προσεγγίσεις σε κλειστά όργανα. Ανάλογα με τον τύπο της δραστηριότητας, η απόδοση της αναγνώρισης μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας τον ίδιο τύπο αισθητήρα σε πολλαπλές θέσεις σώματος, που χρησιμοποιούν δίκτυα ετερογενών αισθητήρων ή την ενσωμάτωση μιας ποικιλίας αισθητήρων σε μία μόνο συσκευή. Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων συμπληρωματικών τύπων δεδομένων αισθητήρων μπορεί επίσης να βοηθήσει στην αναγνώριση δραστηριοτήτων, δεδομένα κίνησης και εγγύτητας, δεδομένα κίνησης

και θέσης ή δεδομένα κίνησης και μετρήσεις από φορητούς αναγνώστες ετικετών RFID. Το τελευταίο είναι ένα παράδειγμα συνδυασμού φορητών αισθητήρων με ένα περιβάλλον οργάνων (σε αυτήν την περίπτωση αντικείμενα με RFID-tag). Μια παρόμοια προσέγγιση αποτελεί ο συνδυασμός δεδομένων από επιταχυνσιόμετρα που μπορούν να φορεθούν και αισθητήρες περιβαλλοντικής υπέρυθρης ανάγνωσης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την προσέγγιση είναι μέρος ενός μεγαλύτερου συνόλου δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση οι χρήστες χρησιμοποιούν αισθητήρες που μπορούν να φορεθούν σε συνδυασμό με μια σειρά περιβαλλοντικών αισθητήρων για την ανίχνευση της χρήσης αντικειμένων (π.χ. διακόπτες καλαμιού και αισθητήρες κίνησης για την ανίχνευση χρήσης θυρών, παραθύρων, ντουλαπιών κλπ.) και περιβαλλοντικών συνθηκών (φωτισμός, θερμοκρασία, υγρασία κλπ.) [9].

## 1.1 Βιοαισθητήρες

Το βιολογικό σήμα (ή βιοσήμα) αποτελεί την χωρική, χρονική, ή χωροχρονική καταγραφή ενός βιολογικού γεγονότος, όπως μια παλλόμενη καρδιά ή ένας συσπώμενος μυς. Η ηλεκτρική, χημική, και μηχανική δραστηριότητα που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια αυτού του βιολογικού γεγονότος παράγει συχνά σήματα που μπορούν να μετρηθούν και να αναλυθούν. Τα βιολογικά σήματα, επομένως, περιέχουν τις πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν τους φυσιολογικούς μηχανισμούς που υποκρύπτονται σε ένα συγκεκριμένο βιολογικό γεγονός ή ένα σύστημα. Τα βιοσήματα μπορούν να αποκτηθούν με ποικίλους τρόπους, όπως από το στηθοσκόπιο που χρησιμοποιεί ο γιατρός για να ακούσει τον ήχο της καρδιάς ενός ασθενή αλλά και με την χρήση των ιδιαίτερα σύνθετων και τεχνολογικά προηγμένων βιοϊατρικών οργάνων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν αρκεί απλά η απόκτηση ενός βιολογικού σήματος. Πρέπει να αναλυθούν για να ανακτηθούν πιο σχετικές πληροφορίες απ' αυτά. Οι βασικές μέθοδοι ανάλυσης σημάτων, π.χ., ενίσχυσης, φιλτραρίσματος, ψηφιοποίησης, επεξεργασίας, και αποθήκευσης, μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά βιολογικά σήματα [10].

### **1.1.1 Ιστορική Αναδρομή των Βιοαισθητήρων**

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη των βιοαισθητήρων έγινε το 1916, όπου αναφέρεται για πρώτη φορά η δυνατότητα ακινητοποίησης πρωτεϊνών, και ακολουθεί το 1956 η ανακάλυψη του πρώτου ηλεκτροδίου οξυγόνου από τον καθηγητή Leland C. Clark στο Cincinnati. Το 1962 παρουσιάζεται από τον ίδιο στο «Συμπόσιο της Ακαδημίας Επιστημών της Νέας Υόρκης» ο πρώτος βιοαισθητήρας, ο οποίος είναι ένας αμπερομετρικός βιοαισθητήρας γλυκόζης και αποτελεί τον πρώτο βιοαισθητήρα που κυκλοφορεί στην αγορά το 1972 από την εταιρεία Yellow Springs Instruments. Εν τω μεταξύ, κατασκευάζεται το 1969 ο πρώτος ποτενσιομετρικός βιοαισθητήρας από τους Guilbault και Montalvo, ενώ από το 1980, έτος κατά το οποίο κατασκευάστηκε ο πρώτος αισθητήρας οπτικών ινών για την ανίχνευση in vivo αερίων στο αίμα (Peterson), ξεκινά η επανάσταση των οπτικών βιοαισθητήρων.

Το 1983 κατασκευάζεται ο πρώτος ανοσοαισθητήρας συντονισμού επιφανειακών πλασμονίων (SPR) και ακολουθεί το 1984 ο πρώτος αμπερομετρικός βιοαισθητήρας με μεσολαβητή: η φεροκίνη (ferrocene) χρησιμοποιεί την οξειδάση της γλυκόζης για την ανίχνευση της γλυκόζης. Τα τελευταία χρόνια η προοδευτική απαίτηση για γρήγορη και ακριβή ανίχνευση οποιουδήποτε τύπου ουσιών έχει επιταχύνει την ανάπτυξη μιας μεγάλης ποικιλίας βιοαισθητήρων, ενώ ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην οπτική ολοκλήρωση που βελτιώνει ακόμη περισσότερο τις ιδιότητές τους. Σημαντικοί σταθμοί στη νεότερη παγκόσμια αγορά των βιοαισθητήρων είναι το 1996, κατά το οποίο η εταιρεία Abbott εξαγοράζει τη MediSense, και το 1998, οπότε συγχωνεύονται οι εταιρείες Roche και Boehringer Mannheim και δημιουργούν τη Roche Diagnostics [11].

### **1.1.2 Ορισμός Βιοαισθητήρα**

Βιοαισθητήρας είναι ένας αυτόνομος αισθητήρας ικανός να παρέχει ποσοτικές ή ημιποσοτικές πληροφορίες χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο βιολογικής αναγνώρισης που βρίσκεται σε άμεση χωρική επαφή με ένα κατάλληλο μεταλλάκτη. Ένας βιοαισθητήρας είναι σε μία αναλυτική διάταξη που αποτελείται από ένα βιοστοιχείο (ένζυμο, αντίσωμα, κύτταρο, ιστό) και ένα μεταλλάκτη που μετατρέπει μία βιολογική ή βιοχημική αναγνώριση του υποστρώματος (αναλύτη) σε ηλεκτρικό σήμα.



Συνήθως στους βιοαισθητήρες ως στοιχείο βιολογικής αναγνώρισης χρησιμοποιείται ένα ένζυμο (ενζυμικοί βιοαισθητήρες) ή βιολογικοί υποδοχείς όπως αντισώματα, κύτταρα, ιστοί (βιοαισθητήρες συγγένειας).

Το βιοστοιχείο των περισσότερων βιοαισθητήρων είναι ακινητοποιημένο πάνω σε μεμβράνη ή μέσα σε γέλη έτσι, ώστε το βιοστοιχείο να κρατιέται σε στενή επαφή με το μεταλλάκτη. Το παραγόμενο αναλυτικό σήμα είναι αποτέλεσμα βιοαναγνώρισης, δηλαδή εκλεκτικής αλληλεπίδρασης του βιολογικού παράγοντα ανίχνευσης (παράγοντας βιοαναγνώρισης) με την προσδιοριζόμενη ουσία. Ως παράγοντας βιοαναγνώρισης χρησιμοποιείται κάποιο βιομόριο πρωτεϊνικής ή νουκλεοτιδικής φύσης (π.χ ένζυμο, αντίσωμα, υποδοχέας, πεπτίδιο ή ολιγονουκλεοτίδιο) ή ένας βιολογικός παράγοντας (π.χ κυτταρικό οργανίδιο, μικροοργανισμός ή τμήμα ιστών) ακινητοποιημένος σε έναν κατάλληλο φορέα.

### **1.1.3 Ιδιότητες ενός Ιδανικού Βιοαισθητήρα**

Τα χαρακτηριστικά ενός βιοαισθητήρα καθορίζουν την απόδοσή του, τη σταθερότητα λειτουργίας του και την ταχύτητα της απόκρισής του στα ερεθίσματα που δέχεται. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να είναι είτε στατικά είτε δυναμικά. Τα στατικά χαρακτηριστικά ενός βιοαισθητήρα αναφέρονται στην περίπτωση που έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ του σήματος εισόδου και του βιοαισθητήρα. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά περιγράφουν τη συμπεριφορά του βιοαισθητήρα μεταξύ της στιγμής κατά την οποία το σήμα εισόδου μεταβάλλεται έως και τη στιγμή κατά την οποία το σήμα εξόδου θα σταθεροποιηθεί εκ νέου. Τα στατικά χαρακτηριστικά ενός βιοαισθητήρα καθορίζουν την απόδοσή του σε μια σταθερή κατάσταση και είναι τα ακόλουθα:

- Ακρίβεια

Η ακρίβεια είναι η ικανότητα ενός συστήματος να δίνει αποτελέσματα ταυτόσημα με την πραγματική τιμή μετρήσιμης ποσότητας. Ως ανακρίβεια ορίζεται η απόκλιση της μέτρησης του βιοαισθητήρα από την πραγματική τιμή του εξωτερικού ερεθίσματος. Είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα άλλων χαρακτηριστικών, όπως, για παράδειγμα, της υστέρησης και των σφαλμάτων

βαθμονόμησης. Μπορεί να εκφραστεί ως απόλυτη τιμή του σφάλματος μέτρησης, ποσοστό της κλίμακας εισόδου ή ποσοστό της κλίμακας εξόδου.

- Σφάλματα βαθμονόμησης

Τα σφάλματα βαθμονόμησης οφείλονται στην κακή βαθμονόμηση του αισθητήρα. Έτσι, αν η βαθμονόμηση δεν γίνει αναλυτικά (για κάθε σημείο της συνάρτησης μεταφοράς) αλλά για λίγα μόνο αντιπροσωπευτικά σημεία, προκύπτει ένα συστηματικό σφάλμα. Τα σφάλματα βαθμονόμησης μπορεί, επίσης, να σχετίζονται με την ανακρίβεια στη γνώση της μετρήσιμης φυσικής ποσότητας κατά τη βαθμονόμηση ή με τη λανθασμένη καταγραφή της απόκρισης του βιοαισθητήρα στην αλλαγή αυτής της ποσότητας.

- Συστηματικά σφάλματα

Τα συστηματικά σφάλματα είναι αποτέλεσμα διάφορων παραγόντων, όπως των μεταβλητών που επηρεάζουν τη λειτουργία του βιοαισθητήρα (π.χ. θερμοκρασία), των αλλαγών στη χημική σύνθεση ή στη μηχανική τάση των εξαρτημάτων του βιοαισθητήρα, της επίδρασης της μετρητικής διαδικασίας στη μετρήσιμη φυσική ποσότητα, των φαινομένων εξασθένησης του σήματος. Τα συστηματικά σφάλματα μπορούν να διορθωθούν με τεχνικές αντιστάθμισης, όπως η ανάδραση και το φιλτράρισμα.

- Τυχαία σφάλματα

Τα τυχαία σφάλματα, γνωστά και ως «θόρυβος», είναι ένα σήμα που δεν μεταφέρει δεδομένα. Πραγματικά τυχαία σφάλματα, όπως ο «λευκός θόρυβος», περιγράφονται από μια γκαουσιανή κατανομή. Μπορεί να οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες ή να σχετίζονται με τη μετρητική διαδικασία και τη μετάδοση σήματος. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις τους, θα πρέπει ο λόγος του σήματος-προς-το θόρυβο να είναι πολύ μεγαλύτερος της μονάδας.

- Πλήρης κλίμακα εισόδου

Ορίζεται ως η μέγιστη μεταβολή της μετρήσιμης φυσικής ποσότητας την οποία μπορεί να μετρήσει ο βιοαισθητήρας με ακρίβεια.

- Πλήρης κλίμακα εξόδου

Ορίζεται ως η αλγεβρική διαφορά μεταξύ των τιμών εξόδου ενός βιοαισθητήρα, που αντιστοιχούν στη μέγιστη και στην ελάχιστη ανιχνεύσιμη τιμή της μετρήσιμης φυσικής ποσότητας.

- Διακριτική ικανότητα

Ορίζεται ως η ελάχιστη μεταβολή της μετρήσιμης φυσικής ποσότητας που χρειάζεται, για να παρατηρηθεί ανιχνεύσιμη μεταβολή στο σήμα εξόδου. Η ελάχιστη μεταβολή της μετρήσιμης ποσότητας από το μηδέν ορίζεται ως το όριο της διακριτικής ικανότητας.

- Εκλεκτικότητα

Η εκλεκτικότητα ενός βιοαισθητήρα είναι η ικανότητά του να αναγνωρίζει ένα μοναδικό συστατικό μεταξύ άλλων συστατικών του ίδιου υλικού. Ένας βιοαισθητήρας εμφανίζει τόσο μεγαλύτερη εκλεκτικότητα, όσο πιο μικρός είναι ο αριθμός των αναμειγνυομένων σε ένα δείγμα συστατικών. Η εκλεκτικότητα ενός βιοαισθητήρα καθορίζεται τόσο από το βιολογικό του τμήμα όσο και από τη μέθοδο με την οποία λειτουργεί ο μετατροπέας του.

- Ευαισθησία

Η ευαισθησία ενός βιοαισθητήρα είναι η παράγωγος της συνάρτησης μεταφοράς ως προς τη μετρήσιμη φυσική ποσότητα, για μια ορισμένη τιμή της ποσότητας αυτής. Για μια γραμμική συνάρτηση μεταφοράς, η ευαισθησία του βιοαισθητήρα είναι γραμμική. Ένας βιοαισθητήρας με ιδανικά χαρακτηριστικά έχει μεγάλη και σταθερή ευαισθησία.

- Χρόνος απόκρισης

Χρόνος απόκρισης ενός βιοαισθητήρα είναι ο χρόνος που απαιτείται, για να αποκριθεί η διάταξη σε μια μεταβολή της προς μέτρηση ποσότητας και ο οποίος ταυτίζεται με τον χρόνο που χρειάζεται, για να προσεγγιστεί το μέγιστο της συγκέντρωσης της αναλυτέας ουσίας. Ο χρόνος απόκρισης αποτελεί μέτρο για τον υπολογισμό της απόκρισης του βιοαισθητήρα στη μεταβολή της συγκέντρωσης της αναλυόμενης ουσίας, όπως, επίσης, και της

ελάχιστης χρονικής καθυστέρησης που απαιτείται, ώστε να συλλεχθούν οι πρώτες πληροφορίες μέτρησης με απόλυτη ακρίβεια.

- Γραμμική απόκριση

Είναι γενικά επιθυμητό η απόκριση ενός βιοαισθητήρα να μεταβάλλεται γραμμικά με το μετρούμενο μέγεθος. Η μη γραμμικότητα εκφράζεται ως η μέγιστη απόκλιση μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Σε έναν πραγματικό βιοαισθητήρα, η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά αποκλίνουν πάντα από το ιδανικό. Οι αιτίες σχετίζονται τόσο με ενδογενείς παράγοντες, όπως, για παράδειγμα, κατασκευαστικές ατέλειες ή περιορισμούς των ηλεκτρονικών, όσο και με εξωγενείς παράγοντες, όπως, για παράδειγμα, τις περιβαλλοντικές μεταβολές [12].

#### **1.1.4 Πού χρησιμοποιούνται οι βιοαισθητήρες**

Οι βιοαισθητήρες στις μέρες μας αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο για την εκτέλεση διάφορων λειτουργιών που εξυπηρετούν τις ανθρώπινες ανάγκες. Η επεξεργασία τροφίμων, η παρακολούθηση, η αυθεντικότητα των τροφίμων, η ποιότητα και η ασφάλεια τους πραγματοποιείται και διασφαλίζεται μέσω των βιοαισθητήρων. Οι παραδοσιακές τεχνικές που εκτελούν χημικά πειράματα και φασματοσκοπία παρουσιάζουν ελλείψεις λόγω ανθρώπινης κόπωσης, είναι δαπανηρές και χρονοβόρες. Είναι επιθυμητές οι εναλλακτικές λύσεις για την εξακρίβωση της γνησιότητας και την παρακολούθηση των τροφίμων με αντικειμενική και συνεπή μέτρηση των τροφίμων, με οικονομικά αποδοτικό τρόπο, για τη βιομηχανία τροφίμων. Έτσι, η ανάπτυξη βιοαισθητήρων ως ανταπόκριση στη ζήτηση για απλές, σε πραγματικό χρόνο, επιλεκτικές και ανέξοδες τεχνικές είναι φαινομενικά ευνοϊκή.

Στο πεδίο της ιατρικής επιστήμης, οι εφαρμογές των βιοαισθητήρων αυξάνονται με ταχύ ρυθμό. Οι βιοαισθητήρες γλυκόζης χρησιμοποιούνται ευρέως σε κλινικές εφαρμογές για διάγνωση σακχαρώδους διαβήτη, η οποία απαιτεί ακριβή έλεγχο των επιπέδων γλυκόζης αίματος. Επίσης, βιοαισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως στον ιατρικό τομέα για τη διάγνωση μολυσματικών ασθενειών. Οι διάφορες άλλες εφαρμογές βιοαισθητήρων περιλαμβάνουν: ποσοτική μέτρηση καρδιακών δεικτών σε

μη αραιωμένο ορό, δοκιμασία μικροκυκλοφοριακής σύνθετης αντίστασης για τον έλεγχο καρδιακής υπερτροφίας που προκαλείται από ενδοθηλίνη, ανίχνευση του στρες και άλλων καρδιαγγειακών προβλημάτων.

Στη μεταβολική μηχανική, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και η έλλειψη βιωσιμότητας των προερχόμενων από πετρέλαιο προϊόντων παροτρύνουν σταδιακά την ανάγκη ανάπτυξης μικροβιακών κυτταρικών εργοστασίων για τη σύνθεση χημικών ουσιών. Οι ερευνητές θεωρούν ότι η μεταβολική μηχανική είναι η τεχνολογία που επιτρέπει τη βιώσιμη βιοοικονομία. Έχουν επίσης προβλέψει ότι ένα σημαντικό κλάσμα καυσίμων, χημικών προϊόντων και φαρμακευτικών προϊόντων βασικών προϊόντων θα παράγεται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες με την εκμετάλλευση μικροοργανισμών, αντί για τη διύλιση πετρελαίου ή την εξόρυξη από τα φυτά. Η υψηλή δυνατότητα παραγωγής γενετικής ποικιλίας απαιτεί επίσης, αποτελεσματικές μεθόδους διαλογής για την επιλογή των ατόμων που φέρουν τον επιθυμητό φαινότυπο. Οι προηγούμενες μέθοδοι βασίστηκαν σε φασματοσκοπική ανάλυση ενζυμικής ανάλυσης, ωστόσο είχαν περιορισμένη απόδοση. Για να παρακάμψουν αυτό το εμπόδιο αναπτύχθηκαν γενετικά κωδικοποιημένοι βιοαισθητήρες που καθιστούν εφικτή την *in vivo* παρακολούθηση του κυτταρικού μεταβολισμού ο οποίος προσφέρει δυνατότητες διαλογής και επιλογής υψηλής απόδοσης χρησιμοποιώντας ταξινόμηση κυττάρων που ενεργοποιούνται με φθορισμό (FACS) και κυτταρική επιβίωση αντίστοιχα. Συνοψίζοντας, παρουσιάζεται η λίστα με τα ευρύτερα πεδία και τους τομείς όπου η χρήση των βιοαισθητήρων είναι σημαντική [13].

- Κλινική διάγνωση και βιοιατρική
- Μικροβιολογία: ανίχνευση ιών και βακτηρίων
- Παραγωγή και ποιοτικό έλεγχο τροφίμων
- Κτηνιατρική διάγνωση
- Έλεγχο βιομηχανικών αποβλήτων
- Προσδιορισμό βιομηχανικών (τοξικών) αερίων
- Έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος

- Ανίχνευση ουσιών χημικού /βιολογικού πολέμου.

Η μέτρηση διαφόρων ιοντικών ειδών και μεταβολιτών είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της φυσιολογικής κατάστασης και του μεταβολισμού των ασθενών και συνεπώς για διαγνωστικούς σκοπούς. Η ομοιόσταση ηλεκτρολυτών είναι ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη υγεία, καθώς πολλές μεταβολικές διεργασίες και λειτουργίες οργάνων εξαρτώνται από αυτήν. Κατά συνέπεια, η διαταραχή της μπορεί να είναι επιβλαβής και σχετίζεται με αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα. Κατά την έντονη σωματική δραστηριότητα, ο αερόβιος μεταβολισμός δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις ενεργειακές απαιτήσεις του σώματος και ο μεταβολισμός γίνεται αναερόβιος. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας το γλυκογόνο καταναλώνεται για την παραγωγή ενέργειας και το γαλακτικό από τους μυς. Αυτό είναι γνωστό ως γλυκόλυση και γαλακτική οξέωση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για αθλήματα βασισμένα στην αντοχή, όπως το τρίαθλο και η ποδηλασία. Ο αναερόβιος μεταβολισμός οδηγεί σε ισχαιμία ιστού (δηλ. Ανεπαρκής οξυγόνωση ιστού), η οποία διαταράσσει την ομοιόσταση και οδηγεί σε μεταβολές στο pH του ιστού, ενώ οι ενδοκυτταρικές και εξωκυτταρικές συγκεντρώσεις  $K^+$  και  $Na^+$  επίσης μεταβάλλονται εξ' αιτίας βλάβης των αντλιών κυτταρικής μεμβράνης. Αυτές οι αλλαγές θα μεταφραστούν σε μετρήσιμη αλλαγή αυτών των ιόντων στον ιδρώτα. Ο ιδρώτας είναι ένα καθαρό, άοσμο υποτονικό υγρό. Ένα υπερδιήθημα πλάσματος. Η δειγματοληψία και η ανάλυση του ιδρώτα επιτρέπουν τη συνεχή μη επεμβατική παρακολούθηση, καθώς είναι εύκολη και εύκολη η πρόσβαση σε όλο το δέρμα, αποτελούμενη από ηλεκτρολύτες και μεταβολίτες φυσιολογικά σημαντικούς όπως  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4$ , γαλακτικό, γλυκόζη και κορτιζόλη [14].

Το pH στα σωματικά υγρά μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 3 και 8 και συσχετίζεται με μεταβολές σε γαλακτικά και άλλα ιόντα και είναι ένας άλλος δείκτης οξυγόνωσης ιστών και ισχαιμίας. Ένας αισθητήρας pH κατασκευασμένος σε ένα εύκαμπτο ελαστικό εμπορικό προσωρινό υπόστρωμα τατουάζ μέσω εκτύπωσης οθόνης και εμπορικών μελανιών με ευαισθησία 50,1 mV / pH. Χρησιμοποιήθηκε Ag / AgCl RE και μια μεμβράνη πολυ (ανιλίνης) (PANi) ευαίσθητη στο pH ήταν ηλεκτροπολυμερισμός επί της WE με βάση τον άνθρακα. IrOx αισθητήρες pH αναπτύχθηκαν στο εύκαμπτο / τεντώσιμο σύστημα. Παρατηρήθηκε μια εξάρτηση θερμοκρασίας ~ 0,02 pH για μια αλλαγή θερμοκρασίας 1 oC και έτσι οι μεταβολές

της θερμοκρασίας σε ένα φυσιολογικά σχετικό εύρος έχουν μικρή επίδραση στις μετρήσεις του pH [15].

Ο  $\text{Na}^+$  είναι ο πιο άφθονος ηλεκτρολύτης στον ιδρώτα και ένας δείκτης για την ανισορροπία των ηλεκτρολυτών που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σωματική και πνευματική ευεξία. Το  $\text{Na}^+$  είναι απαραίτητο για τη ρύθμιση της ισορροπίας του νερού, του pH και της οσμωτικής πίεσης. Έτσι, η επαναφορά των επιπέδων  $\text{Na}^+$  είναι απαραίτητη. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τους αθλητές καθώς η ποσότητα της απώλειας  $\text{Na}^+$  μέσω του ιδρώτα μπορεί να φτάσει σε επικίνδυνα επίπεδα που διακινδυνεύουν την υπονατρίαμια και οδηγούν στην εξασθένηση της φυσιολογικής λειτουργίας. Ένας επιδερμικός αισθητήρας  $\text{Na}^+$  για παρακολούθηση ιδρώτα κατασκευασμένο σε έναν προσωρινό αισθητήρα δερματοστιξίας χρησιμοποιώντας εκτύπωση οθόνης με ευαισθησία  $60,41 \text{ mV} / \log [\text{Na}^+]$ . Η μεταξοτυπία χρησιμοποιήθηκε για την εναπόθεση μιας πολυμερικής ιοντοφόρου μεμβράνης ανίχνευσης  $\text{Na}^+$  σε ένα ηλεκτρόδιο στοχεύοντας μετρήσεις ηλεκτρολυτών ιδρώτα για αθλητές και άλλες εφαρμογές. Μια ευαισθησία  $57 \text{ mV} / \log [\text{Na}^+]$  μεταξύ 10-90 mM, η οποία είναι  $\pm 10 \text{ mM}$  της φυσιολογικής σχετικής περιοχής για ιδρώτα  $\text{Na}^+$ . Τα ηλεκτρόδια εκτυπώθηκαν χρησιμοποιώντας εμπορικές μελάνες σε υπόστρωμα PET, PEDOT ηλεκτροθεραπευτήθηκε στις επιλεκτικές μεμβράνες WE και  $\text{Na}^+$  ρίχθηκαν σταγόνες επιτυγχάνοντας μια ευαισθησία  $55,5 \text{ mV} / \log [\text{Na}^+]$  μεταξύ 10<sup>-5</sup> έως 10<sup>-1</sup> M.

Οι συγκεντρώσεις  $\text{Ca}^{2+}$  στα σωματικά υγρά ποικίλλουν μεταξύ 0,5-3 mM και οι αποκλίσεις  $\text{Ca}^{2+}$  μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία πολλών οργάνων και συστημάτων και σχετίζονται με μυέλωμα, διαταραχή ισορροπίας όξινου οξέος, κίρρωση και νεφρική ανεπάρκεια. Το επίπεδο των επιπέδων  $\text{Ca}^{2+}$  στα σωματικά υγρά εξαρτάται από το pH. Επομένως, η παρακολούθηση αυτών των ιόντων μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση των ιστών. Η αμμωνία παράγεται στο σώμα στον μεταβολισμό των αμινοξέων. Στις φυσιολογικές τιμές του πλάσματος και του ενδοκυτταρικού pH σε υδατικά διαλύματα η αμμωνία διαλύεται για να σχηματίσει ιόντα αμμωνίου. Τα επίπεδα αμμωνίου στο αίμα είναι τυπικά μεταξύ 11-50  $\mu\text{M}$ . Ένα επίπεδο πάνω από 100  $\mu\text{M}$  υποδηλώνει παθολογία. Το αμμώνιο αποβάλλεται μέσω του ιδρώτα από το πλάσμα διαμέσου διάχυσης από υψηλότερο σε χαμηλότερο pH και συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη συγκέντρωση πλάσματος, με συγκέντρωση ιδρώτα 50-150 φορές υψηλότερη από εκείνη στο

πλάσμα. Μια γραμμική σχέση μεταξύ των επιπέδων ιδρώτα αμμωνίου και γαλακτικού βρέθηκε ως συνάρτηση της εξαντλητικής άσκησης. Οι συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+$  ποικίλλουν κατά τη διάρκεια της άσκησης όταν ο μεταβολισμός καθίσταται αναερόβιος. Ο προσδιορισμός του αμμωνίου παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη μεταβολική κατάσταση, τα προβλήματα του ήπατος και τις διατροφικές πληροφορίες [16].

Η γλυκόζη είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της μεταβολικής κατάστασης των ιστών. Η μέτρηση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα είναι ο κυρίαρχος κλινικός δείκτης του διαβήτη. Ωστόσο, η λήψη δειγμάτων αίματος είναι άβολη και μπορεί να οδηγήσει σε μόλυνση. Μια εναλλακτική λύση είναι η πραγματοποίηση μετρήσεων γλυκόζης στον ιδρώτα (τυπικά μεταξύ 0,1-50 mg / dL), οι οποίες έχουν βρεθεί ότι συσχετίζονται αξιόπιστα με τις συγκεντρώσεις στο αίμα. Ωστόσο, οι προκλήσεις στη μέτρησή του σχετίζονται με το pH (λόγω των μεταβολών του γαλακτικού οξέος) και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που θα επηρεάσουν τη δραστηριότητα της οξειδάσης γλυκόζης, την ανάμιξη παλαιού και νέου ιδρώτα και την αραίωση γλυκόζης ιδρώτα με την πάροδο του χρόνου.

Η κορτιζόλη είναι μια στεροειδή ορμόνη που σχετίζεται με την αρτηριακή πίεση, τα επίπεδα γλυκόζης, τον μεταβολισμό των υδατανθράκων και την ομοιοστασία των καρδιαγγειακών, ανοσολογικών, νεφρικών, ενδοκρινικών και σκελετικών συστημάτων. Επίσης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ψυχολογικό / συναισθηματικό στρες και θεωρείται ο πιο ισχυρός βιοδείκτης για ανίχνευση φυσιολογικού στρες. Οι μετρήσεις της σιελογόνης κορτιζόλης χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων της άσκησης, της κατάρτισης και του ανταγωνισμού καθώς αυξάνονται τα επίπεδα κορτιζόλης κατά τη διάρκεια περιόδων φυσικού στρες και σχετίζονται με την παθητική υπερθερμία και τις οξείες παραβιάσεις του μυοκαρδίου. Η κορτιζόλη εξαρτάται επίσης από τον κερκαδικό κύκλο και βοηθά στην αποκατάσταση της ομοιόστασης. Η συγκέντρωση κορτιζόλης στο ιδρώτα κυμαίνεται μεταξύ 141,7 ng / mL και 8,16 ng / mL και η συγκέντρωση κορτιζόλης ιδρωμένο είναι συγκρίσιμη με τα επίπεδα του σιελογόνη που υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η κορτιζόλη του ιδρώτα συσχετίζεται με την ελεύθερη μη συνδεδεμένη κορτιζόλη στο αίμα [17].



Μια σημαντική απόκλιση από την κανονική θερμοκρασία υποδηλώνει κίνδυνο δυσλειτουργίας οργάνων και σοβαρή απειλή για την υγεία του ασθενούς. Μια απόκλιση  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  από τη θερμοκρασία ανάπαυσης  $\sim 37^{\circ}\text{C}$  μπορεί να οδηγήσει σε φυσιολογικές βλάβες και θανάτους. Κατά τη διάρκεια έντονης παρατεταμένης σωματικής άσκησης (π.χ. αγώνες αντοχής), η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να αυξηθεί από περίπου  $37^{\circ}\text{C}$  σε ηρεμία στους  $> 42^{\circ}\text{C}$ , όπου μπορεί να υποστεί βλάβη ο κυτταρικός κυτταροσκελετός και να μειωθούν οι λειτουργίες των οργάνων και του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η κατανόηση της θερμορύθμισης κατά τη διάρκεια της σωματικής άσκησης είναι σημαντική για την προστασία των αθλητών από τον τραυματισμό από τη θερμότητα και τη διαχείριση της φυσικής απόδοσης υπό θερμές συνθήκες. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ακριβής συνεχής παρακολούθηση των εντοπισμένων μεταβολών της θερμοκρασίας στους ιστούς ανεξάρτητα από τις γεωμετρικές παραμορφώσεις. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας πρέπει να έχουν υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια, γρήγορο χρόνο απόκρισης, καλή επαναληψιμότητα και σταθερότητα, χαμηλή υστέρηση και εύρος λειτουργίας μεταξύ 25 και 45 οC. Απαιτείται ακρίβεια  $\pm 0,1$  οC μεταξύ 37 και 39 οC και  $\pm 0,2$  οC κάτω των 37 οC και άνω των 39 οC, με μεγαλύτερη ακρίβεια στην περιοχή των 0,01 οC που απαιτείται για διάφορες ιατρικές εφαρμογές.

### 1.1.5 Είδη Βιοσημάτων

Τα βιοσήματα, όπως και τα απλά σήματα, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους σε ανάλογες κατηγορίες. Αναλόγως με το σκοπό που θέλουμε να τα χρησιμοποιήσουμε, επιλέγουμε και την κατάλληλη ταξινόμηση.

- Με βάση την τρόπο ενεργοποίησής τους, τα σήματα ταξινομούνται σε [18]:

**1. ενεργά:** Η πηγή για τη μέτρηση τους προέρχεται από τον ίδιο τον ασθενή («εσωτερική πηγή»). Αυτή η κατηγορία μπορεί να χωριστεί σε δυο υποκατηγορίες, τα: a) ηλεκτρικά: γνωστά και ως βιοδυναμικά (biopotential) είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη κατηγορία βιοσημάτων. Παραδείγματα που ανήκουν σε αυτό τον τύπο σημάτων είναι τα σήματα που προκύπτουν από τις τεχνικές της Ηλεκτροκαρδιογραφίας, Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, Ηλεκτρομυογραφίας, Ηλεκτρογαστρογραφίας κλπ. b) μη ηλεκτρικά: Παρότι είναι συνηθισμένο μόλις αναφερόμαστε σε βιοσήματα να είναι

συνηθισμένο να εννοούμε τα βιοηλεκτρικά σήματα, στην πραγματικότητα υπάρχουν και τα μη ηλεκτρικά. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αποτελούν η θερμοκρασία του σώματος και η πίεση του αίματος.

**2. παθητικά:** Η ενεργειακή πηγή είναι εκτός του ασθενούς («εξωτερική πηγή»), για παράδειγμα ακτίνες X στον αξονικό τομογράφο.

- Με βάση την πηγή ή τη φυσιολογική προέλευσή τους, τα σήματα ταξινομούνται σε:

**1. βιοηλεκτρικά:** Η αιτία που τα προκαλεί είναι τα νευρικά και τα μυϊκά κύτταρα. Κάτω από συγκεκριμένες καταστάσεις το δυναμικό της μεμβράνης ενεργοποιεί δυναμικό δράσης. Το βιοϊατρικό σήμα προκύπτει από μεμονωμένες μετρήσεις από συγκεκριμένα κύτταρα με χρήση ηλεκτροδίων, λειτουργώντας ως αισθητήρες. Σε πιο σύνθετες μετρήσεις, όπως στα επιφανειακά ηλεκτρόδια, δημιουργείτε ηλεκτρικό πεδίο από την ενεργοποίηση πολλών κυττάρων στην περιοχή που καλύπτει το ηλεκτρόδιο και προκαλείτε βιοηλεκτρικό σήμα. Για να διαδοθεί το ηλεκτρικό πεδίο κάνει χρήση του βιολογικού μέσου, το οποίο καθιστά πιο εύκολη την καταγραφή του σήματος. Για να γίνει η καταγραφή του σήματος γίνεται χρήση απλού μετατροπέα ανάλογα με τη χρήση που απαιτείται. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το ηλεκτροκαρδιογράφημα, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και ηλεκτρομυογράφημα.

**2. βιοαντίστασης:** Σημαντικές είναι οι πληροφορίες που περιέχονται στη σύνθετη αντίσταση του ιστού περιέχει όσων αφορά τη σύνθεση του, τον όγκο και διανομή αίματος, την ενδοκρινική δραστηριότητα, την αυτόματη δραστηριότητα του νευρικού συστήματος. Το σήμα βιοαντίστασης παράγεται συνήθως με ένεση (ή επιφανειακά) στον ιστό υπό δοκιμή ημιτονοειδών ρευμάτων (εύρος συχνοτήτων από 50 kHz έως 1 MHz, με χαμηλές πυκνότητες ρεύματος της τάξης των 2 mA to 20 A). Το φάσμα συχνοτήτων και οι χαμηλές πυκνότητες ρεύματος επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα πόλωσης ηλεκτροδίων και να αποφευχθεί βλάβη του ιστού, κυρίως λόγω των επιδράσεων της θέρμανσης, αντίστοιχα.

**3. βιομαγνητικά:** Διάφορα βιολογικά όργανα του ανθρώπου, όπως η καρδιά, ο εγκέφαλος, και οι πνεύμονες, παράγουν εξαιρετικά ασθενή μαγνητικά πεδία της τάξεως νάνο (nT) έως μικρο (μT) Τέσλα. Οι μετρήσεις αυτών των πεδίων παρέχουν πληροφορίες που δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθούν σε άλλα βιοσήματα (όπως

βιοηλεκτρικά σήματα). Λόγω του χαμηλού επιπέδου των μαγνητικών πεδίων που πρέπει να μετρηθεί, τα βιομαγνητικά σήματα έχουν συνήθως πολύ χαμηλή τιμή για το λόγο σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το μαγνητοκαρδιογράφημα και το μαγνητοεγκεφαλογράφημα.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να ληφθεί για το σχεδιασμό του συστήματος καταγραφής αυτών των σημάτων. Παράδειγμα αισθητήρα που χρησιμοποιείτε για αυτού του είδους την καταγραφή αποτελεί η υπεραγώγιμη κβαντική συσκευή παρεμβολής (Superconducting quantum interference devices ή σε συντομογραφία SQUID), που είναι πολύ ευαίσθητα μαγνητόμετρα με σκοπό τη μέτρηση εξαιρετικά ασθενών μαγνητικών πεδίων, βασισμένα σε υπεραγώγιμους βρόχους που περιέχουν επαφές Josephson. Για να καταγραφούν με ακρίβεια, θα πρέπει ως αναγκαία συνθήκη να αποκλείονται οι οποιοσδήποτε άλλες επιδράσεις που θα μπορούσαν να ασκηθούν από το περιβάλλον, το οποίο είναι γεμάτο από μαγνητικά σήματα.

**4. εμβιομηχανικά:** Σε αυτή την κατηγορία σημάτων συμπεριλαμβάνονται όλα τα σήματα που χρησιμοποιούνται στα πεδία της βιοϊατρικής προερχόμενα από κάποια μηχανική λειτουργία του βιολογικού συστήματος. Παραδείγματα μηχανικών λειτουργιών των βιολογικών συστημάτων που προκαλούν τα σήματα αυτά είναι η κίνηση, η μετατόπιση, η πίεση, η ένταση, η ροή και άλλα. Η μέτρηση των εμβιομηχανικών σημάτων απαιτεί μια ποικιλία μετατροπών, η οποία δεν είναι πάντοτε απλή και ανέξοδη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μηχανικό φαινόμενο δεν διαδίδεται, όπως κάνουν τα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ακουστικά πεδία. Η μέτρηση επομένως συνήθως πρέπει να πραγματοποιείται κατά την ακριβή τοποθεσία. Αυτό πολύ συχνά περιπλέκει τη μέτρηση και την αναγκάζει να είναι επεμβατική. Π.χ. αρτηριακή πίεση, μη άμεση – φωνοκαρδιογραφία (non-direct phonocardiography), καρωτιδιογραφία. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και τα βιοακουστικά που ακολουθούν παρακάτω και είναι με τη μορφή δόνησης (κίνηση).

**5. βιοακουστικά:** Πολλά φαινόμενα βιοϊατρικής δημιουργούν ακουστικό θόρυβο. Η ροή του αίματος στην καρδιά, μέσω των βαλβίδων της καρδιάς, είτε μέσω των αιμοφόρων αγγείων δημιουργεί τυπικό ακουστικό θόρυβο. Η ροή του αέρα μέσω του άνω και κάτω αεραγωγού και στους πνεύμονες δημιουργεί ακουστικούς ήχους. Αυτοί οι ήχοι, που είναι γνωστή ως βήχας, ρόγχος, ήχοι του στήθους και των πνευμόνων, που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική. Παράλληλα, ήχοι δημιουργούνται στην

πεπτική οδό και στις αρθρώσεις. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι ο μυς που συσπάται παράγει ένα ακουστικό θόρυβο (θόρυβος των μυών). Δεδομένου ότι η ακουστική ενέργεια διαδίδεται μέσω του βιολογικού μέσου, το βιοακουστικό σήμα μπορεί εύκολα να αποκτηθεί επί της επιφανείας, με τη χρήση ακουστικών μετατροπέων (μικρόφωνα ή επιταχυνσιόμετρα). Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το φωνοκαρδιογράφημα.

**6. βιοχημικά:** Είναι το αποτέλεσμα των χημικών μετρήσεων από έμβιο ιστό ή από τα δείγματα που αναλύονται στο κλινικό εργαστήριο. Περιέχουν πληροφορίες για τα επίπεδα και τις μεταβολές των διάφορων χημικών ουσιών στο σώμα. Παράδειγμα τέτοιου σήματος είναι η μέτρηση της συγκέντρωσης των διαφόρων ιόντων, όπως ασβέστιο ή κάλιο, μέσα και στη γειτονία ενός κυττάρου μέσω ειδικών ιοντικών ηλεκτροδίων. Μερικές πιέσεις του οξυγόνου ( $pO_2$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $pCO_2$ ) στο αίμα ή στο αναπνευστικό σύστημα είναι άλλα παραδείγματα. Τα βιοχημικά σήματα χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς, όπως ο καθορισμός των επιπέδων γλυκόζης, λακτάζης και μεταβολιτών και η παροχή πληροφοριών για τη λειτουργία των διαφόρων φυσιολογικών συστημάτων. Βιοχημικά σήματα είναι πιο συχνά πολύ χαμηλής συχνότητας σήματα. Τα περισσότερα βιοχημικά σήματα είναι πραγματικά σήματα συνεχούς ρεύματος.

**7. βιοοπτικά:** Είναι το αποτέλεσμα των οπτικών λειτουργιών του βιολογικού συστήματος, που προκύπτει φυσικά ή προκαλείται από τη μέτρηση. Η οξυγόνωση του αίματος μπορεί να εκτιμηθεί με μέτρηση του εκπεμπόμενου και οπισθοσκεδαζόμενου φωτός από έναν ιστό (in vivo και in vitro) σε διάφορα μήκη κύματος (οξυμετρία). Τα βιοοπτικά σήματα μπορούν να εμφανιστούν με φυσικό τρόπο ή να προκληθούν με τη χρήση βιοϊατρικής τεχνικής. Σημαντικές πληροφορίες για το έμβρυο μπορούν να αποκτηθούν με μέτρηση φθορισμού χαρακτηριστικά του αμνιακού υγρού. Αξιολόγηση της εξόδου της καρδιάς δύναται να διεξαχθεί με τη μέθοδο αραιώσης χρωστικής, η οποία απαιτεί την παρακολούθηση της εμφάνισης της επανακυκλοφορούσας βαφής στην κυκλοφορία του αίματος. Η ανάπτυξη της τεχνολογία των οπτικών ινών έχει διευρύνει τις εφαρμογές βιοοπτικών σημάτων.

**8. Θερμικά:** Τα θερμικά βιοσήματα, συνεχείς ή διακριτά, μεταφέρουν πληροφορίες για τη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος ή κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια. Η μέτρηση της θερμοκρασίας αντικατοπτρίζει φυσικές και βιοχημικές

διεργασίες που διενεργούνται στον οργανισμό. Η μέτρηση εκτελείται συνήθως με μία μέθοδο επαφής χρησιμοποιώντας μια ποικιλία από θερμομέτρα. Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται δυο διαστάσεων (2D) θερμική κάμερα.

**9. ακτινολογικά:** Σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας με βιολογικές δομές. Μεταφέρουν πληροφορίες για τις εσωτερικές ανατομικές δομές. Παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάγνωση και τη θεραπεία.

**10. βιοσήματα υπερήχων:** Σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση με τους ιστούς του οργανισμού. Φέρνουν πληροφορίες σχετικά με ακουστικές αντιστάσεις των βιολογικών δομών και ανατομικές αλλαγές τους. Έχουν αποκτηθεί από ανίχνευτές που περιέχουν πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χρήση τους για την ανίχνευση της καταστάσεως του εμβρύου [19].

## **2. Ηλεκτρονικά ενεργοποιούμενοι φορητοί αισθητήρες (Electronically-enabled wearable sensors) και μη ηλεκτρονικοί φορητοί αισθητήρες (Non-Electronic wearable sensors)**

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι φορητοί 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 ιδιαίτερα 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.

Οι αισθητήρες που μπορούν να φορεθούν με ηλεκτρονικό τρόπο μπορούν να περιγραφούν ως υποκατηγορία της τεχνολογίας των φορητών, που περιλαμβάνει ρούχα, αξεσουάρ ή υποδήματα κατασκευασμένα από ηλεκτρονικά υφάσματα και υλικά με αισθητήρες με ενσωματωμένα ή προσαρμοσμένα αισθητήρια στοιχεία. Οι αισθητήρες που μπορούν να φορεθούν ηλεκτρονικά περιλαμβάνουν ρούχα και αξεσουάρ τα οποία μπορούν να παρέχουν απλή οπτική ανατροφοδότηση, όπως αλλαγή χρώματος και μοτίβου, προκειμένου να απεικονιστεί μια απόκριση σε επιλεγμένα ερεθίσματα.

Παρόλο που αυτοί οι δύο τύποι αισθητήρων είναι ενεργοποιημένοι μέσω διαφορετικών τεχνολογιών, έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. α) χρησιμοποιούν υλικά υποστρώματα τα οποία έχουν εξοπλιστεί με αισθητική λειτουργικότητα ειδικά για ερεθίσματα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής (π.χ. κατασκευή ή επιφανειακή επεξεργασία), β) φοριούνται στο σώμα ή κοντά στο φορέα και γ) παρέχουν μηχανισμό προειδοποίησης, ανίχνευσης ή παρακολούθησης για να ενημερώσουν τον χρήστη / φορέα σχετικά με την κατάσταση της υγείας του ή την κατάσταση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Εντούτοις, διακρίνονται από το επίπεδο δραστηριότητας και απόκρισης, την πολυπλοκότητα της ανάδρασης και της αλληλεπίδρασης των χρηστών [20].

Ενώ οι συσκευές ανίχνευσης με ηλεκτρονικά μέσα μπορούν να προσφέρουν στον χρήστη μια ευρεία γκάμα επιλογών σε οπτική, απτική (δηλ. δόνηση) ή άλλη ανάδραση, συλλογή και διαχείριση δεδομένων και έλεγχο και αλληλεπίδραση μεταξύ των χρηστών (συχνά μέσω της ενσωμάτωσης σε ένα ευρύτερο οικοσύστημα, συσκευές, μετάδοση δεδομένων, εφαρμογές λογισμικού, απεικόνιση διεπαφών / δεδομένων και συναφείς υπηρεσίες), οι μη ηλεκτρονικές συσκευές ανίχνευσης μπορούν να παρέχουν μόνο στο χρήστη βασική οπτική ανατροφοδότηση και η ανατροφοδότηση παραμένει λίγο πολύ η ίδια. Η αλληλεπίδραση των χρηστών για αυτούς τους τύπους αισθητήρων είναι πολύ πιο περιορισμένη, καθώς δεν υπάρχουν διεπαφές για τις οποίες ο χρήστης μπορεί να ασχοληθεί. Ωστόσο, ορισμένοι από αυτούς τους απλούστερους τύπους αισθητήρων που φοριούνται μπορούν να συλλέξουν φυσικά δείγματα από τον χρήστη ή το περιβάλλον, γεγονός που προσφέρει εναλλακτικές ευκαιρίες στην ανάλυση δεδομένων επί τόπου / επί του σώματος, καθώς τα συλλεγμένα δείγματα μπορούν να αναλυθούν και να αξιολογηθούν μακριά από το σώμα του χρήστη [21].

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν οδηγήσει στη ευρεία χρήση της τεχνολογίας φορετών συσκευών σε διάφορες εφαρμογές. Παρόλο που η χρήση φορετών 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. 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. Τα φορητά 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. Έτσι, 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 φορητά ηλεκτρονικά συστήματα, οι έξυπνοι αισθητήρες, που αποτελούνται από εύκαμπτα υποστρώματα και έχουν ενσωματωμένα αγωγίμα 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 νανοϊνες άνθρακα και ηλεκτρόδια με βάση τα νανοϋλικά.



### **3. Ηλεκτρονικοί φορητοί αισθητήρες (Electronic wearable sensors)**

#### **3.1 Βαθμοί ολοκλήρωσης αισθητήρων**

Εν όψει των ηλεκτρονικών φορητών αισθητήρων, είναι σημαντικό να διερευνηθούν οι διάφοροι βαθμοί ολοκλήρωσης. Υπάρχουν πολλοί τρόποι χαρακτηρισμού των βαθμών ολοκλήρωσης. Αυτή η έρευνα εντοπίζει τρεις τύπους ηλεκτρονικών φορητών αισθητήρων, προκειμένου να προσφέρει ένα πιο ποικίλο πεδίο καινοτομίας. Αυτοί οι αισθητήρες ορίζονται από τον τρόπο με τον οποίο η αισθητηριακή λειτουργικότητα παρέχεται στον χρήστη και περιλαμβάνει:

- Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ως φορέας αισθητήρα

Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν ως φορέα για αισθητική λειτουργικότητα και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: α) τα ηλεκτρονικά και / ή τα αισθητήρια στοιχεία συνδέονται μόνιμα στην επιφάνεια του υφάσματος ή β) το ίδιο το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν γίνεται αισθητήρας, έχει ενσωματωθεί απευθείας στο υλικό κατά την κατασκευή υφασμάτων. Οι ερευνητές αναφέρονται σε αυτούς τους δύο τύπους ως «ενσωματωμένα ηλεκτρονικά», τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα με ενσωματωμένα υπάρχοντα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και τα «textronics» και «fibertronics», όπου τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα είτε κατασκευάζονται με τεχνικές παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είτε ενσωματώνονται ηλεκτρονικά απευθείας στα νήματα. Μεγάλο μέρος της τρέχουσας έρευνας και ανάπτυξης σε φορητούς αισθητήρες έχει επικεντρωθεί σε αυτό το είδος της ομαλής ενσωμάτωσης για τη δημιουργία κλωστοϋφαντουργικών αισθητήρων.

Η παραπάνω προσέγγιση περιγράφεται ως «επιδέξια ανάμειξη» των υπολογιστικών στοιχείων με το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη την ομαλή ενσωμάτωση των διαφόρων απαιτούμενων στοιχείων, όπως η αρχιτεκτονική διασύνδεσης, το υλικό και το λογισμικό συστήματος, εντός της υποδομής των υφασμάτων. Το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν είναι εξοπλισμένο με αισθητική λειτουργικότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής νημάτων ή υφασμάτων, προτού να μετατραπεί σε ένδυμα ή αξεσουάρ και η ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων είναι μόνιμη, αν και θεωρητικά, όπου τα ηλεκτρονικά έχουν

προσκολληθεί στην επιφάνεια του υφάσματος, μπορούν να αφαιρεθούν, εάν έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με την αποσυναρμολόγηση [22].

Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα που ανταποκρίνονται στα ηλεκτρονικά ερεθίσματα μπορούν να θεωρηθούν ως ένας ιδιαίτερος τύπος έξυπνου υφάσματος, ο οποίος αναφέρεται ως ηλεκτρονικό κλωστοϋφαντουργικό προϊόν. Αυτά τα αγώγιμα υφάσματα μπορούν να αλλάξουν τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες ως αποτέλεσμα της ανταπόκρισης σε ένα ευρύ φάσμα εσωτερικών και εξωτερικών ερεθισμάτων και ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρια υφάσματα. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ως αισθητήρων είναι ότι, ανάλογα με τη μέθοδο ενσωμάτωσής τους, μπορούν να είναι εύκαμπτα, μαλακά, άνετα, φορετά, πλένονται και εύκολα στη χρήση. Γενικά, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχουν χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλλά μπορούν να προστεθούν και να ενσωματωθούν αγώγιμα εξαρτήματα κατά τη διαδικασία κατασκευής. Συνεπώς, τα αγώγιμα υφάσματα μπορούν να δημιουργηθούν με δύο τρόπους, είτε με τη χρήση συγκεκριμένων μεθόδων κατασκευής για την ενσωμάτωση αγώγιμων και ηλεκτρονικών στοιχείων κατά τη διαδικασία κατασκευής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, όπως πλέξιμο, ύφανση και ξιφασκία ή άλλες μη υφαντές διεργασίες ή με επιφανειακή κατεργασία του τελικού υφάσματος, που περιλαμβάνει εκτύπωση, επικάλυψη, ελασματοποίηση [23].

Οι μέθοδοι ενσωμάτωσης και κατασκευής χρησιμοποιούν αγώγιμα νήματα και νήματα και ίνες, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. ενδογενώς αγώγιμες ίνες, συμπεριλαμβανομένων των καθαρών μετάλλων όπως ανοξείδωτος χάλυβας, τιτάνιο, αλουμίνιο, νικέλιο, χαλκός και άνθρακας και αγώγιμες πολυμερείς ίνες ή ειδικά κατεργασμένες ίνες, οι οποίες γενικά είναι σύνθετα από μέταλλα και μη αγώγιμα υλικά και μπορούν να παραχθούν με ανάμιξη ή επικάλυψη ίνες με μέταλλα και μεταλλικές ουσίες για την επίτευξη αγωγιμότητας. Εντός της κλωστοϋφαντουργικής υποδομής, οι αγώγιμες ίνες, τα νήματα επιτρέπουν την ροή ηλεκτρικής ενέργειας προς και από τα διάφορα εξαρτήματα, επιτρέποντας έτσι και δημιουργώντας αυτό που συχνά αναφέρεται ως έξυπνο κλωστοϋφαντουργικό δίκτυο.

Τα πλεκτά υφάσματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές δίπλα στο δέρμα σε ρούχα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της επιθυμητής αισθητικής λειτουργικότητας και της άνεσης του υφάσματος και του ρούχου. Οι τεχνικές πλέξης

μπορούν να περιλαμβάνουν απλό πλέξιμο, κυκλικό πλέξιμο, πλέξιμο στημόνι ή πλέξιμο με αγωγή νήματα. Τα ηλεκτρικά αγωγή υφαντά υφάσματα μπορούν να κατασκευαστούν μέσω κατασκευής ή επικάλυψης. για μεθόδους κατασκευής, αγωγή νήματα υφαίνονται σε συνδυασμό με μη αγωγή σπειρώματα για να παρέχουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ενώ παραμένουν μαλακά και εύκαμπτα. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο για τους σχεδιαστές να εξετάσουν τους περιορισμούς της ενσωμάτωσης των παραδοσιακών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων με την ύφανση σε σχέση με την άνεση και τον περιορισμό της κίνησης.

Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα αγωγή μη υφασμένα υλικά παράγονται μέσω επικάλυψων και επιμετάλλωσης, ωστόσο, σε πιο πειραματικό επίπεδο, πολλά ερευνητικά και σχεδιαστικά έργα διερευνούν τη δημιουργία μη υφασμένων αγωγίων υφασμάτων μέσω της ενσωμάτωσης αγωγίων νημάτων και ινών μέσω της διαδικασίας επιχρίσματος [24].

Πέραν της ενσωμάτωσης των αισθητήρων μέσω μεθόδων κατασκευής, μπορούν να προστεθούν αισθητήρια και ηλεκτρονικά στοιχεία στο τελικό κλωστοϋφαντουργικό προϊόν μέσω εκτύπωσης, επιμετάλλωσης, ψεκασμού, πλαστικοποίησης ή εμποτισμού κατά τη διαδικασία τελικής επεξεργασίας. Αγωγή χρώματα και μελάνια, συμπεριλαμβανομένου άνθρακα, χαλκού και αργύρου μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη βαφή ή κυκλώματα εκτύπωσης και διάφορους τύπους αισθητήρων επάνω σε μια ποικιλία υφασμάτων, αν και πρέπει να ληφθεί σε εκτατό ύφασμα, προκειμένου να αποφευχθεί η πυρόλυση της εκτύπωσης για να εξασφαλιστεί αγωγιμότητα. Το σημερινό ενδιαφέρον και η αυξανόμενη δραστηριότητα στην ανάπτυξη τεχνικών εκτύπωσης για τα ηλεκτρονικά αγωγή και αισθητήρια κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα φαίνεται ότι οδηγείται από δύο βασικούς παράγοντες: οι τεχνικές εκτύπωσης ενδεχομένως προσφέρουν φθηνότερη και απλούστερη κατασκευή από τις συμβατικές τεχνικές, ενώ η ανάγκη σχεδιασμού ευέλικτων, εύκαμπτων συστημάτων ηλεκτρονικών υφασμάτων ικανών να προσαρμόζονται γύρω από τα σώματα χωρίς παρεμβολή στην άνεση ή την κίνηση, ωθεί επίσης την καινοτομία στον τομέα αυτό. Τα αγωγή μελάνια και οι πάστες περιλαμβάνουν άργυρο, άνθρακα, χαλκό ή πολυμερές και είναι κατάλληλα για μια ποικιλία εκτυπώσεων ή άλλων τεχνικών εφαρμογής. Η εκτύπωση οθόνης χρησιμοποιείται συχνά για την εφαρμογή μελανιών και παστών σε υποστρώματα υφασμάτων, καθώς διερευνώνται και άλλες τεχνικές όπως η βαφή και ο ψεκασμός για να βρεθούν οι

πλέον κατάλληλες μέθοδοι εφαρμογής για τα διάφορα υποστρώματα υφάσματος που είναι διαθέσιμα [25].

Οι χημικοί αισθητήρες προβλέπεται ότι θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην προσωπική υγεία και ευημερία στο μέλλον και η εκτύπωση προσφέρει πολλά υποσχόμενες ευκαιρίες σε αυτόν τον τομέα.

Εκτός από τις τυπωμένες και επικαλυμμένες τεχνολογίες, οι αισθητήρες μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν αγωγίμα κεντήματα από μόνοι τους ή σε συνδυασμό με άλλα αγωγίμα υφαντικά υλικά.

- Ρούχα ως φορέας αισθητήρων

Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί το ρούχο ως φορέα για αισθητική λειτουργικότητα και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: α) τα ηλεκτρονικά ή / και τα αισθητήρια στοιχεία μπορούν να προσαρτηθούν ή να ενσωματωθούν σε συγκεκριμένα είδη ρουχισμού κατά την κατασκευή ή μετά την κατασκευή του ενδύματος ή β) ηλεκτρονικά ή / τα αισθητήρια στοιχεία μπορούν να προσαρτηθούν σε διάφορα είδη ρουχισμού μετά την κατασκευή του ενδύματος από τον χρήστη.

Η βιβλιογραφία διαφοροποιείται μεταξύ της τεχνολογίας που είναι φυσικά ενσωματωμένη ή προσαρτημένη σε ρούχα και η βασική διαφορά στην ταξινόμησή είναι ότι η μια προσέγγιση είναι εξειδικευμένη στο ένδυμα και ημιμόνιμη και ως εκ τούτου δεν μπορεί εύκολα να ξαναχρησιμοποιηθεί με άλλα είδη ρούχων, εκτός εάν γίνει μεγάλη προσπάθεια για την εξαγωγή των αισθητήριων στοιχείων από το αρχικό ένδυμα, ενώ η άλλη προσέγγιση παρέχει εύκολες επιλογές για την αφαίρεση και επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων αισθητήριων στοιχείων.

- Σώμα ή δέρμα ως φορέας αισθητήρα

Οι φορητοί αισθητήρες που φοριούνται στο σώμα περιλαμβάνουν αξεσουάρ που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τον σκοπό της ανίχνευσης (δηλαδή δεν έχουν άλλη λειτουργία, όπως η διατήρηση ζεστού ή κλασσικού τμήματος σώματος) ή αξεσουάρ που φοριούνται για λειτουργικούς ή αισθητικούς λόγους (κοσμήματα) και διαθέτουν πρόσθετη ικανότητα για την παροχή αισθητηριακής λειτουργικότητας. Πολλοί θεωρούσαν ηλεκτρονικά αξεσουάρ, όπως ρολόγια και ζώνες, ένα από τα πρώτα βήματα στην φορητότητα και αν και αυτή η έρευνα δεν αποσκοπεί στο σχεδιασμό

υλικού, η εμφάνιση και η επιτυχία αντικειμένων όπως τα ρολόγια, οι χειρολαβές και διάφοροι τύποι άλλων ιχνηλάτων δραστηριότητας είναι που σχετίζονται με την έρευνα, καθώς παρέχουν σημαντικές γνώσεις σχετικά με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες και προτιμήσεις των χρηστών. Οι αισθητήρες που φοριούνται στην επιφάνεια του δέρματος περιλαμβάνουν αυτοκόλλητα επιθέματα, έμπλαστρα και τατουάζ και πρόσφατα εμφανίστηκαν στο χώρο της υγείας και της ιατρικής, όπου η επί τόπου ανίχνευση, παρακολούθηση και διαχείριση ασθενειών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο.

Έχουν ενσωματωθεί σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ενσωματωμένα και προσαρτημένα σε ένδυση και αισθητήρες που φοριούνται στο σώμα και το δέρμα σε διάφορα εμπορικά προϊόντα, ερευνητικά έργα και εννοιολογικές εξελίξεις και οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός προϊόντος είναι πιθανό να υπαγορεύουν τον πιο κατάλληλο τύπο αισθητήρα. δηλαδή σε φορετά συστήματα υγείας και τα περισσότερα υφάσματα με αισθητήρα για φυσιολογική ανίχνευση ή παρακολούθηση, είναι γενικά απαραίτητο να παρέχεται επαφή με το δέρμα μεγάλης επιφάνειας για ακριβή μέτρηση, οπότε η απαλότητα και η άνεση αποτελούν βασική απαίτηση που μπορεί να ωφεληθεί από τη χρήση υφασμάτων οι ενσωματωμένοι αισθητήρες, ενώ οι αισθητήρες που λειτουργούν ως διακόπτες για τη λειτουργία μιας συσκευής (π.χ. ενσωματωμένα κουμπιά τηλεχειριστηρίου) χρειάζονται γενικά μόνο μια μικρή περιοχή επαφής για να λειτουργήσουν και έτσι κάνουν τη χρήση των προσαρτημένων αισθητήρων βιώσιμη [26].

### **3.2 Δίκτυα Αισθητήρων**

Οι αισθητήρες αισθάνονται και συλλέγουν δεδομένα από τον χρήστη ή το περιβάλλον και είναι σε θέση να μεταφέρουν τις πληροφορίες σε μια μονάδα επεξεργασίας μέσω ενός ηλεκτρονικού δικτύου. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η χρήση ενός ενσωματωμένου / προσαρτημένου ηλεκτρονικού συστήματος ή δικτύου που να μπορεί να φοριέται, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν ηλεκτρικά κυκλώματα τα οποία να ενσωματώνουν και να διασυνδέουν τα διάφορα ηλεκτρικά εξαρτήματα (π.χ. αισθητήρες, ενεργοποιητές και τροφοδοτικό) έτσι ώστε το αισθητήριο στοιχείο να μπορεί να μεταδίδουν ηλεκτρονικά τα συγκεντρωμένα δεδομένα σε μια μονάδα επεξεργασίας. Αυτό σημαίνει ότι, υπό την επιφύλαξη της

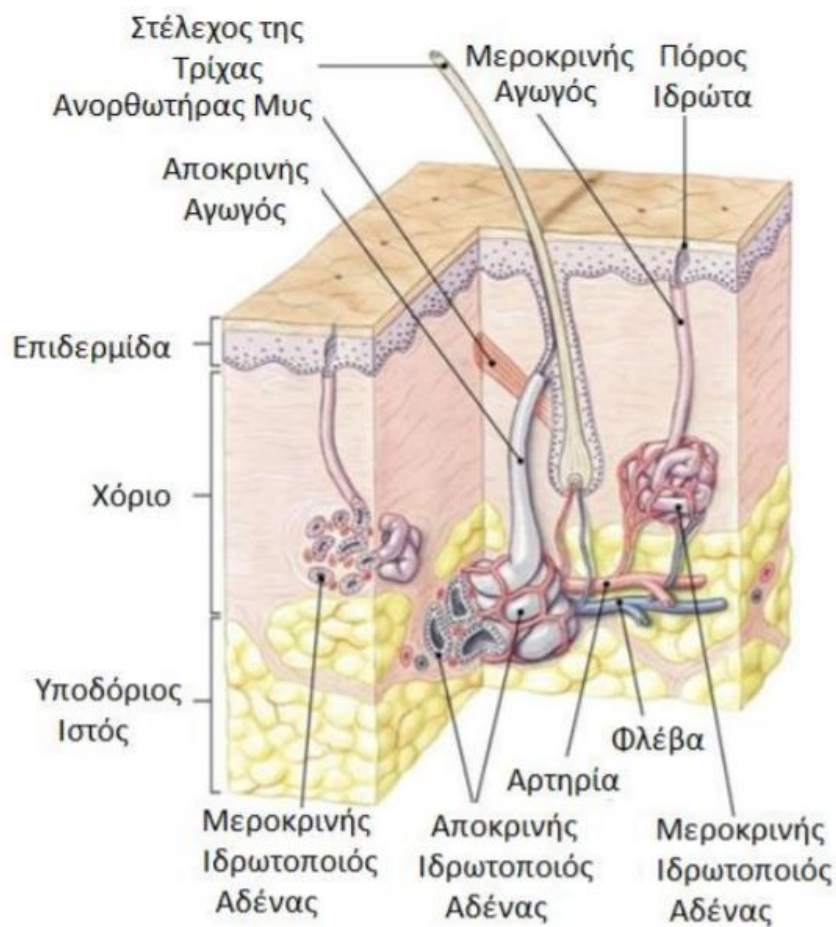
χρήσιμης ανάγκης του χρήστη και της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν μπορεί να αντιδράσει ώστε να παρέχει στον χρήστη μια άμεση ανταπόκριση (δηλ. Οπτικό σήμα) ή / και τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν στη μονάδα επεξεργασίας για ανάλυση από μια επιλογή συνδεδεμένων συσκευών , όπως υπολογιστές, tablet και smartphones.

Αυτά τα κυκλώματα ενεργοποίησης και οι διασυνδέσεις μπορούν να κατασκευαστούν μέσω κεντήματος, εκτύπωσης και ελασματοποίησης. Η χρήση κεντήματος για τη δημιουργία αγωγίων γραμμών και διασυνδέσεων έχει λειτουργικά πλεονεκτήματα, καθώς είναι μαλακή, εύκαμπτη, αφής, ανθεκτική και πλένεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα περισσότερα υποστρώματα από υφαντικές ύλες.

Όσον αφορά τα τυπωμένα κυκλώματα και τις διασυνδέσεις, αγωγίμες μελάνες και πάστες από ασήμι, άνθρακα, χαλκό ή πολυμερές μπορεί να είναι κατάλληλες για μια ποικιλία τεχνικών εκτύπωσης ή άλλων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της εκτύπωσης οθόνης και άλλων τεχνικών όπως η βαφή και ο ψεκασμός. Αν και τα τυπωμένα ηλεκτρονικά και τα κυκλώματα επιλέγονται κυρίως για την παραγωγή χαρτιού και εξαιρετικά εύκαμπτων και λεπτών μεμβρανών ή επικαλυμμένων υποστρωμάτων όπως φαίνεται στην βιομηχανία συσκευασίας, υπάρχουν ορισμένα παραδείγματα τυπωμένων κυκλωμάτων και διασυνδέσεων σε πιο συμβατικά υποστρώματα υφασμάτων [27].

#### 4. Ο ιδρώτας ως μέσο για τη μέτρηση βιοσημάτων με μη-επεμβατικό τρόπο

Οι ιδρωτοποιοί αδένες υπάρχουν σε όλη την επιφάνεια του δέρματος, εκτός από το δέρμα των φρυδιών, το ερυθρό των χειλιών, την έσω επιφάνεια του πτερυγίου του αυτιού, τα κοίτη των ονύχων, το έσω πέταλο της ακροποσθίας, τη βάλανο και τα μικρά χείλη του αιδοίου. Ο αριθμός τους κυμαίνεται περίπου στα 3 εκατομμύρια. Οι περισσότεροι εντοπίζονται στα πέλματα, τις παλάμες, το πρόσωπο και τη μασχάλη. Οι αδένες του Moll στις παρυφές των βλεφαρίδων και οι κυβελιδοποιοί αδένες του έξω ωτός είναι τροποποιημένοι ιδρωτοποιοί αδένες. Οι ιδρωτοποιοί είναι σωληνοειδείς εσπειραμένοι αδένες και διακρίνονται στους εκκριτικούς (μεροκρινείς) και τους απεκκριτικούς (αποκρινείς).



Εικόνα 4.1 Οι αδένες του Δέρματος [52]

Ο ιδρώτας χρησιμοποιείται για τη θερμορύθμιση του σώματος, η οποία είναι μια από τις θεμελιώδεις δραστηριότητες για το σώμα μας. Συνίσταται κυρίως από νερό (99%) και χαμηλές συγκεντρώσεις αναλυτών που βρίσκονται στο πλάσμα, όπου οι κύριοι μεταβολίτες είναι γαλακτικό, διαφορετικά αμινοξέα και λιπίδια. Άλλοι βιοδείκτες που βρίσκονται τόσο στον ιδρώτα όσο και στο αίμα περιλαμβάνουν το νάτριο ( $\text{Na}^+$ ), το χλωριούχο ( $\text{Cl}^-$ ), το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) και τη γλυκόζη. Ο ιδρώτας εξαρτάται από πολλαπλά χαρακτηριστικά, διαφέρει μεταξύ των ατόμων και των τμημάτων του σώματος. Οι διαφορετικοί βιοδείκτες έχουν διαφορετική σχέση μεταξύ του ιδρώτα και του αίματος. Λόγω της διαδικασίας μεταφοράς, η σχέση μπορεί να είναι παθητική, ενεργή ή αυτογενής.

Ο ιδρώτας είναι αποτέλεσμα της έκκρισης των αδένων. Οι αδένες βρίσκονται σε μεγάλο μέρος του σώματος αλλά με μεταβαλλόμενη πυκνότητα ανάλογα με το τμήμα του σώματος και το άτομο. Οι ιδρώτα αδένες βρίσκονται στο δέρμα. Ο αδένας αποτελείται από τρία μέρη, τον ανώτερο σπειροειδή αγωγό, ο οποίος καταλήγει στην επιφάνεια του δέρματος και όπου εμφανίζεται ο ιδρώτας, ο δερματικός αγωγός όπου μερικοί βιοδείκτες μεταφέρονται στον ιδρώτα και το εκκριτικό πηνίο, η βάση του αδένου και όπου υπάρχουν πρόσθετοι βιοδείκτες συσσωματωμένος.

Εισάγεται νερό στον αδένου ιδρώτα στο εκκριτικό πηνίο, καθώς επίσης  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ . Τα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  αργότερα απορροφούνται στον δερματικό αγωγό. Αυτά τα ιόντα έχουν μια ενεργή μεταφορά στον αδένου και εξαρτώνται από τον ρυθμό εφίδρωσης, μια έννοια που εξηγείται παρακάτω παρακάτω. Στο εκκριτικό πηνίο, η μεταφορά μεταβολικής προέλευσης περιλαμβάνεται επίσης στο ρευστό που είναι ιδρωμένος. Αυτά τα μόρια με μεταβολική προέλευση, π.χ. γαλακτικό, είναι πιθανό να παράγονται και στον αδένου και να μεταφέρονται από το πλάσμα.

Ο ρυθμός ιδρώτα είναι ο ρυθμός με τον οποίο εκκρίνεται ο ιδρώτας. Μπορεί να υπολογιστεί τόσο από τοπική όσο και από ολόκληρη την οπτική γωνία, οι διαφορετικοί υπολογισμοί έχουν διαφορετική όψη όσον αφορά την αίσθηση του ιδρώτα. Μπορεί να βρεθεί σε διαφορετικές μονάδες ανάλογα με τους υπολογισμούς, όταν ληφθεί υπόψη η πυκνότητα του ιδρώτα,  $\text{ml} / \text{min} / \text{m}^2$  και όπου υπολογίζεται με βάση ολόκληρο το σώμα,  $\text{l} / \text{h}$ . Ο ρυθμός ιδρώτα βρέθηκε επίσης να έχει σχέση με την ένταση της άσκησης.



Ο τοπικός ρυθμός εφίδρωσης (LSR) μπορεί να μετρηθεί μέσω μεταβολών μάζας σε ένα σύστημα συλλογής σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του σώματος. Για το σύστημα συλλογής \ φίλτρο χαρτιού, μπαλώματα, θήκες, βαμβακερά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Για να είστε βέβαιοι ότι η συλλογή ιδρώτα είναι αντιπροσωπευτική, θα πρέπει να κάνετε δοκιμές όταν η εφίδρωση φτάσει σε σταθερή κατάσταση. Για να αποφευχθούν μεταβολές στον ρυθμό εφίδρωσης λόγω περιβαλλοντικών διακυμάνσεων, η δοκιμή πρέπει να γίνει κατά τη διάρκεια του χρόνου περιορισμού. Μελέτες έχουν δείξει ότι υπάρχει υψηλός τοπικός ρυθμός εφίδρωσης στο κεφάλι, το δάκτυλο / το χέρι και την πλάτη (οσφυϊκής) των συμμετεχόντων.

Για να υπολογίσετε ολόκληρο τον ρυθμό ιδρώτα του σώματος (WBSR), μπορεί να αξιολογηθεί η μεταβολή της σωματικής μάζας κατά τη διάρκεια της προπόνησης. Αυτό με τη μέτρηση του γυμνού βάρους πριν και μετά την προπόνηση και συσχετίζεται με τις μη μόνιμες αλλαγές σωματικής μάζας κατά τη διάρκεια της προπόνησης, π.χ. κατανάλωση τροφίμων, κενή ουροδόχο κύστη, κατανάλωση νερού. Χρησιμοποιώντας γυμνό σωματικό βάρος, ελαχιστοποιείτε το σφάλμα του ιδρώτα που παγιδεύεται στα ρούχα. Οι πρόσθετες αλλαγές στη μάζα λόγω της μεταβολικής και της αναπνευστικής απώλειας μάζας θα πρέπει να διορθωθούν εάν η δοκιμασία είχε τεθεί σε ένα δύσκολο περιβάλλον (υψηλή ένταση ή ξηρό περιβάλλον) ή για μεγάλο χρονικό διάστημα (2-3 ώρες).

Το γαλακτικό μπορεί να βρεθεί σε συγκέντρωση 5-60 mM στον ιδρώτα, που προέρχεται τόσο από το πλάσμα αίματος, όσο και από τον εκκρινόμενο αδέν. Η μεταφορά από το πλάσμα δεν είναι πλήρως κατανοητή, αλλά πιστεύεται ότι σχετίζεται με τη ροή από τον αδέν του ιδρώτα αλλά και με παθητική ή ενεργή μεταφορά από το πλάσμα. Το γαλακτικό οξύ εξαρτάται από το γλυκό ρυθμό (SWD) και μπορεί συνεπώς να βρεθεί σε υψηλότερη συγκέντρωση στον ιδρώτα σε σύγκριση με το αίμα. Ωστόσο, το επίπεδο του γαλακτικού οξέος είναι ένας έμμεσος δείκτης της φυσικής προσπάθειας. Λόγω της πολυπλοκότητας σχετικά με το SWD, υπάρχουν διάφορες μελέτες που υποστηρίζουν και υποστηρίζουν αν το γαλακτικό στον ιδρώτα συσχετίζεται με το αίμα και την ένταση της άσκησης. Οι μεταβολές της συγκέντρωσης εξαρτώνται από τις χρησιμοποιούμενες παραμέτρους, τον τόπο δοκιμών και τις συνθήκες δοκιμής.

Η χρήση του ιδρώτα ως βιορευστό για την ανίχνευση επιτρέπει στον αισθητήρα να έρχεται κοντά στο νεοσύστατο υγρό. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν πολλοί τρόποι συλλογής ιδρώτα για μέτρηση π.χ. LSR. Επιπλέον, υπάρχει σύστημα συλλογής ιδρώτα χρησιμοποιώντας τους ίδιους τους αδένες ιδρώτα ως υδραυλική αντλία. Οι Liu et al δημιούργησαν έναν συλλέκτη ιδρώτα με την εκτύπωση 3D ενός κυκλικού συλλέκτη με καμπυλότητα 1 mm και μια οπή ( $d = 2\text{mm}$ ) που αγγίζει το δέρμα. Ο ιδρώτας μεταφέρθηκε μέσω της οπής σε ένα σωλήνα όπου χρησιμοποιούσαν τον ιδρώτα για αγωγίμες μετρήσεις. Οι συλλέκτες ιδρώτα μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλαπλά μέρη σώματος π.χ. το αντιβράχιο και κάτω από το στήθος.

Η Γαλβανική Απόκριση Δέρματος ορίζεται σαν μια αλλαγή στις ηλεκτρικές ιδιότητες του δέρματος. Η αντίσταση του δέρματος είναι συνήθως μεγάλη, από  $1\text{M}\Omega$  –  $10\text{M}\Omega$ , όμως γνωρίζουμε παρ' όλα αυτά, ότι στιγμιαίες αλλαγές της δραστηριότητας του ιδρωτοποιού αδένα προκαλούν αλλαγές στην αντίστασή του (περίπου έως και  $950\text{K}$ ). Η GSR αντικατοπτρίζει τη δραστηριότητα του ιδρωτοποιού αδένα και τις αλλαγές στο νευρικό σύστημα και τις μεταβλητές μέτρησης. Η διέγερση του Νευρικού Συστήματος εξ' αιτίας ερεθισμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δράση των ιδρωτοποιών που οδηγεί με τη σειρά του σε μεταβολή του επιπέδου της αγωγιμότητας. Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα εξετάσουμε τη σχέση/σύνδεση που υπάρχει ανάμεσα στη συμπαθητική δραστηριότητα του αυτόνομου νευρικού συστήματος και στη συναισθηματική διέγερση, παρ' ότι υπάρχουν δυσκολίες στην αναγνώριση του εκάστοτε εκδηλωμένου συναισθήματος. Η αλλαγή αυτή συνεπώς στη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου καταγράφεται μέσω ενός συστήματος, όπου το σήμα ουσιαστικά καταγράφει τις μεταβολές στην αγωγιμότητα του δέρματος λόγω της λειτουργίας/δράσης των ιδρωτοποιών αδένων.

Η GSR θεωρείται από παλιά αξιόλογο μέσο μέτρησης του φυσιολογικού και πνευματικού stress [28]. Παρότι δεν υπάρχουν απόλυτα μεγέθη/επίπεδα ενδεικτικά του υψηλού φόρτου εργασίας ή του άγχους, η μέθοδος αυτή αποτελεί μια σχετικά καλή ένδειξη του stress. Υψηλότερα επίπεδα στις μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ορισμένων εργασιών υποδηλώνουν υψηλότερα επίπεδα άγχους. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχει σύνδεση μεταξύ συμπαθητικού νευρικού συστήματος και συναισθηματικής διέγερσης όμως ο προσδιορισμός του

συναίσθηματος μέσω των μετρήσεων της GSR είναι δύσκολος. Έτσι συναισθήματα όπως φόβος, θυμός, τρόμος, αποπροσανατολισμός, σεξουαλικός ερεθισμός κ.α. μπορούν ,παρότι διαφορετικά εντελώς, να προκαλέσουν παρόμοιες αποκρίσεις της GSR.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την μέτρηση της Ηλεκτροδερματικής Αγωγιμότητας. Οι δυο κυριότερες είναι η ενεργός μέτρηση, όπου ένα ρεύμα διαπερνά το δέρμα και στη συνέχεια μετράτε η αντίσταση σε αυτό το πέρασμα και η παθητική όπου δε χρησιμοποιείται κανένα εξωτερικό ρεύμα και το δέρμα από μόνο του αποτελεί την πηγή της ηλεκτρικής δραστηριότητας.

## **5. Μη-επεμβατικοί επιλεκτικοί αισθητήρες**

Για να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές από τις πολύπλοκες λύσεις, οι αισθητήρες μπορούν να γίνουν επιλεκτικοί για τον αναλύτη ενδιαφέροντος. Υπάρχουν ενζυματικοί και μη ενζυματικοί επιλεκτικοί αισθητήρες και έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα ανάλογα με την περιοχή χρήσης.

### **5.1 Ενζυμικός αισθητήρας**

Οι περισσότεροι μη επεμβατικοί αισθητήρες ιδρώτα βασίζονται στην αποικοδόμηση του γαλακτικού με ένζυμο και την ανίχνευση συχνά με αμπερομετρικούς αισθητήρες. Ο αμπερομετρικός αισθητήρας μετρά την αλλαγή στα ιόντα υδρογόνου και το σήμα μπορεί να μετατραπεί σε συγκέντρωση γαλακτικού. Δύο τύποι ενζύμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτούς τους τύπους μέτρησης, γαλακτική οξειδάση (LO) και LDH.

Η χρήση ενζύμων παρέχει μια συγκεκριμένη και ευαίσθητη μέθοδο, ωστόσο υπάρχουν ορισμένες αρνητικές πτυχές. Τα ένζυμα είναι πολύ ευαίσθητα στις διαφορετικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και το pH, η αλλαγή των συνθηκών μπορεί να οδηγήσει σε απενεργοποίηση του ενζύμου και συνεπώς σε έναν μη λειτουργικό αισθητήρα. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, οι αυξήσεις της θερμοκρασίας που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ιδρώτα, δηλαδή η χρήση του αισθητήρα μπορεί να επηρεάσει το ένζυμο αρνητικά. Οι αισθητήρες που βασίζονται σε ένζυμα έχουν περιορισμένο και αποτελεσματικό χρόνο, πράγμα που σημαίνει ότι η χρήση τους θα περιοριστεί σε δύο ώρες και αυτό δεν είναι αρκετό χρόνο για ένα άθλημα μεγάλων αποστάσεων. Επιπλέον, οι αισθητήρες πρέπει να αποθηκεύονται στο κρύο για να μην χαλαρώνει η ευαισθησία κατά τη διάρκεια της μακράς αποθήκευσης [29].

### **5.2 Ο μη-ενζυμικός αισθητήρας**

Ένας μη ενζυματικός αισθητήρας πρέπει να μπορεί να έχει παρόμοια εξειδίκευση με τον ενζυματικό αισθητήρα παρέχοντας παράλληλα καλύτερη αποθήκευση και σταθερότητα με την πάροδο του χρόνου.

- Μοριακά αποτυπωμένα πολυμερή (Molecular imprinted polymers, MIP's)

Μια πιθανή εναλλακτική λύση στα ένζυμα είναι τα μοριακά αποτυπωμένα πολυμερή (MIP) που μιμούνται τον μηχανισμό κλειδώματος και κλειδιού των ενζύμων. Οι MIP μιμούνται την ενεργό θέση των ενζύμων με τη σύνθεση τους για να σχηματίσουν κοιλότητες που ταιριάζουν με τον αναλύτη ενδιαφέροντος, καθιστώντας τους ως εκ τούτου συγκεκριμένους. Ο στόχος μπορεί να συνδεθεί πίσω στα MIPs και να οδηγήσει σε μια αλλαγή που μπορεί να πάρει ανάλογα με τον αισθητήρα. Σε σύγκριση με τα ένζυμα, τα MIPs είναι πιο σταθερά για ακραία pH, θερμοκρασία και πίεση.

Ο στόχος, συχνά αναφερόμενος ως πρότυπο στη διαδικασία σύνθεσης, δεν πρέπει να επηρεάζεται από τις αλλαγές πολυμερισμού και θερμοκρασίας. Το πρότυπο συνδέεται με λειτουργικά μονομερή για να δημιουργήσει το σύμπλεγμα το οποίο αργότερα δημιουργεί τις κοιλότητες. Αυτά τα λειτουργικά μονομερή είναι να ενισχύσουν την επιλεκτικότητα του στόχου. Για χρήση σε ηλεκτροχημικές μετρήσεις, είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθούν μονομερή που μπορούν να σχηματίσουν μη αγωγίμες μεμβράνες ή αγωγίμες μεμβράνες. Εν συνεχεία οι σταυροδεσμοί χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση της πολυμερούς μήτρας που δημιουργείται γύρω από το εκμαγείο και τα λειτουργικά πολυμερή.

Όταν τροποποιείται ένα ηλεκτρόδιο με MIP το πάχος του στρώματος είναι σημαντικό, ένα πολύ παχύ στρώμα μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ικανότητα ανίχνευσης ενώ ένα πολύ λεπτό στρώμα δεν παρέχει την επιθυμητή ιδιαιτερότητα και σταθερότητα.

Με τη χρήση των MIPs για τον αισθητήρα μπορεί να επιτευχθούν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα ένζυμα. Ένας μοριακός αποτυπωμένος αισθητήρας έχει καλό όριο ανίχνευσης και επειδή το αισθητήριο σύστημα μπορεί να είναι μικρό, είναι κατάλληλο για μικρότερα αισθητήρια ως συσκευές χειρός. Προηγούμενες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει αυτήν την τεχνική για την ανίχνευση του γαλακτικού στον ιδρώτα.

- Τροποποίηση των τυπωμένων ηλεκτροδίων άνθρακα (Screen printed carbon electrodes)

Η χρήση αυτών των τροποποιημένων ηλεκτροδίων είναι μεγάλη, τα ηλεκτρόδια έχουν προσδιοριστεί π.χ. αιθανόλη, γλυκόζη και γαλακτικό. Επιπλέον, τα νανοσωματίδια χρυσού (AuNP) συχνά ηλεκτροδιαβιβάζονται στο SPCE για να αυξήσουν τη σταθερότητα και την ευαισθησία. Αυτό οφείλεται στις ηλεκτροκαταλυτικές δραστηριότητες του χρυσού και στη συμβατότητα με πολλαπλά βιομόρια.

Οι MIP μπορούν να ενσωματωθούν στο ηλεκτρόδιο με διαφορετικές μεθόδους, π.χ. επίστρωση με σταγόνες και ηλεκτροπολυμερισμό. Η επίστρωση με σταγόνες γίνεται με διασπορά διαλύματος με τα επιλεγμένα μόρια στο ηλεκτρόδιο εργασίας και στη συνέχεια αφήνεται να στεγνώσει. Ο ηλεκτροπολυμερισμός χρησιμοποιεί το δυναμικό από το ηλεκτρόδιο για να χτίσει τη δομή του πολυμερούς πάνω στο ηλεκτρόδιο. Αυτό επιταχύνει τον χρόνο μιας άλλης μακράς διαδικασίας. Για να εξακριβωθεί ότι υπάρχουν πολυμερή που έχουν απομείνει μετά τον καθαρισμό στο τροποποιημένο ηλεκτρόδιο, γίνεται συχνά μέτρηση CV. Αυτό για να δείτε πώς μια τροποποίηση αλλάζει το κυκλικό βολταμόγραμμα, π.χ. τον χαρακτηρισμό του καθετήρα αισθητήρα καθώς και τον προσδιορισμό της νέας επιφάνειας.

Συχνά χρησιμοποιείται για αισθητήρες ηλεκτρονικά αγωγιμα πολυμερή (ECP) λόγω των ηλεκτρονικών ιδιοτήτων τους. Ένα παράδειγμα της ECP είναι η πολυπυρρόλη (PPy) που συντίθεται με οξείδωση μέσω ενός οξειδωτικού παράγοντα. Κατά τη διάρκεια της σύνθεσης των MIP, ένα πρόβλημα συχνά σχετίζεται με την αφαίρεση του προτύπου πριν από τη χρήση. Όταν συντίθενται MIP με υπεροξείδωση ECP της πολυμερούς δομής αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα. Η υπεροξειδωμένη πολυπυρρόλη (oPPy) είναι μια ECP που χρησιμοποιείται σε πολλαπλές MIP για χημικούς αισθητήρες. Η πυρρόλη είναι ένα κοινό χρησιμοποιούμενο λειτουργικό μονομερές κατά τη διάρκεια των παραγωγών των MIP. Το PPy έχει χρησιμοποιηθεί προηγουμένως για παραγωγή MIP λόγω της σταθερότητάς του τόσο με την πάροδο του χρόνου όσο και κατά τη διάρκεια διαφορετικού pH. Καθώς η οξείδωση του PPy σε oPPy είναι μη αναστρέψιμη και σχετίζεται με την υψηλή σταθερότητα. Χρησιμοποιώντας μία τεχνική παρασκευής ενός σταδίου, η MIP που αποτυπώνεται με γαλακτικό οξύ της oPPy είναι σύνθεση για χρήση για ανίχνευση αμινοξέων. Με διαφορετικό οξειδωτικό παράγοντα καθώς και επιπρόσθετη πολυβινυλοπυρρολιδόνη (PVP) σε αυτά ήταν σε θέση να παράγουν MIP από κolloειδή oPPy.

### **5.3 Σχεδίαση μικρορευματικών επιδέσμων**

Διεξήχθησαν μερικά *in vitro* πειράματα με ένα νέο λεπτό εύκαμπτο φορητό έμπλαστρο που ενσωματώνει ένα χαρτί μικροκυκλοφορίας χαρτιού, με ενσωματωμένους εύκαμπτους αισθητήρες που βασίζονται σε μικροστοιχεία συνδεδεμένους με ασύρματο ποτενσιοστάτη. Το πλεονέκτημα της χρήσης ενός μικρορευστοειδούς συστήματος είναι η δυνατότητα χρήσης μικρο-όγκων ιδρώτα για δοκιμασία αναλυόμενης ουσίας. Το σύστημα υγρών είναι απλό και το μέγεθος μπορεί να τροποποιηθεί και να ρυθμιστεί ανάλογα με το σημείο προσάρτησης στο σώμα. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανίχνευσης μέσα στο κανάλι μικρορευστοειδούς παρέχει επίσης το πλεονέκτημα της ελάχιστης καθυστέρησης στη δειγματοληψία και την επακόλουθη ανάλυση του υγρού του δείγματος.

Το μικρορευστικό έμπλαστρο αποτελείται από στρώματα πολυμερούς, μικρορευστοποιητές χαρτιού και εύκαμπτους αισθητήρες. Η συνεχής απελευθέρωση του νέου ιδρώτα προς την περιοχή βιοαισθητήρα είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία των βιοαισθητήρων κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων άσκησης. Ωστόσο, η χρήση συμβατικού ή μικροσκοπικού συστήματος άντλησης (π.χ. περισταλτικές αντλίες) δεν είναι πρακτική για φορητές συσκευές. Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκε μια υβριδική μικρορευστοποιητική συσκευή απλά ενσωματώνοντας χάρτινες δομές με συγκεκριμένους ρυθμούς απορρόφησης μέσα στο μικροκάναλο της πλατφόρμας. Η χρήση των διαύλων χαρτιού εξασφαλίζει ότι ο νέος ιδρώτας από την επιφάνεια του δέρματος οδηγείται μέσω του μικρορευματικού καναλιού με τριχοειδή δράση προς τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες για μετρήσεις. Ο έλεγχος ροής επιτυγχάνεται ενσωματώνοντας δύο διαφορετικές ποιότητες χαρτιού [30].

### **5.4 Δειγματοληψία στον ιδρώτα**

Μία από τις κύριες προκλήσεις όσον αφορά την ανάλυση του ιδρώτα είναι η δυσκολία λήψης έγκυρου δείγματος, ιδίως όταν πρέπει να αποκτηθεί σε πραγματικό χρόνο η πληροφορία του περιεχομένου του ιδρώτα κατά τη διάρκεια της σωματικής άσκησης. Δυσκολίες προκύπτουν από τον υψηλό κίνδυνο διασταυρούμενης επαλήθευσης των δειγμάτων κατά τη συλλογή, τον χειρισμό και την ανάλυση μετά την εκτέλεση. Διαφορετικές τεχνικές συλλογής ιδρώτα έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη

διάρκεια των ετών. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές συλλογής ιδρώτα περιλαμβάνουν τη χρήση μπαλών και κάψουλων κατασκευασμένων από εύκαμπτες συγκολλητικές μεμβράνες χρησιμοποιώντας Parafilm. Μία διαθέσιμη στο εμπόριο τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση ενδοφωστικής πιλοκαρπίνης, στην οποία χρησιμοποιείται ένα σύστημα μακρομονάδας για τη συλλογή του ιδρώτα. Οι επιστήμονες πρότειναν την τεχνική πλύσης ολόκληρου του σώματος, στην οποία προσδιορίζεται η απώλεια του ιδρώτα από ολόκληρο το σώμα, ζυγίζοντας το θέμα πριν και μετά την άσκηση και τη συλλογή όλων των υγρών που χάθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου εκπαίδευσης. Ωστόσο, ο κύριος περιορισμός για αυτές τις τεχνικές είναι μια σημαντική δειγματοληψία στην καθυστέρηση της ανάλυσης (η οποία μπορεί να είναι από μερικές ώρες έως και ημέρες στην περίπτωση των επιθεμάτων), με έλλειψη δεδομένων πραγματικού χρόνου για την κατάσταση του σώματος κατά τη διάρκεια σωματικών προσπαθειών. Σαφώς, οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο θα μπορούσαν να κατανοήσουν καλύτερα τη φυσιολογική κατάσταση των αθλητών κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης.

Προκειμένου να σχεδιαστούν βιώσιμοι αυτόνομοι φορητοί χημειοαισθητήρες, πρέπει να εξεταστούν διάφοροι παράγοντες προκειμένου να επιτευχθούν αξιόπιστα συστήματα ικανά να παρακολουθούν φυσικές και / ή βιοχημικές συνθήκες σε πραγματικό χρόνο. Όπως αναφέρθηκε ήδη, η δειγματοληψία είναι ζωτικής σημασίας δεδομένου ότι το δείγμα χρειάζεται να συλλεχθεί και να παραδοθεί στην ενεργή περιοχή ανίχνευσης όπου θα δημιουργηθεί το αναλυτικό σήμα. Μια άλλη σημαντική απαίτηση που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ευελιξία της συσκευής ώστε να μπορεί να φορεθεί και να προσαρμοστεί στα περιγράμματα του σώματος (ελαχιστοποιώντας την ταλαιπωρία για τον χρήστη), σε σχέση με το ολοκληρωμένο σύστημα ανίχνευσης. Επομένως, η ανάλυση ιδρώτα σε πραγματικό χρόνο όταν εκτελείται κατά τη διάρκεια της άσκησης είναι μια μεγάλη πρόκληση για την κατασκευή αισθητήρων λόγω της ανάγκης για χειρισμό υγρών στο σώμα, την ανάπτυξη αισθητήρων και τη διαχείριση δεδομένων. Εάν όλα αυτά τα ζητήματα μπορούν να επιτευχθούν, οι ληφθείσες συσκευές θα είναι σε θέση να παρέχουν άμεση ανατροφοδότηση σχετικά με την απώλεια υγρών και τις παραλλαγές των αναλύσεων ιδρώτα, παρέχοντας έγκαιρη και αξιόπιστη πληροφόρηση για την απόδοση του αθλητή ή / και τη γενική υγεία.

Η μικρο-ρευστοποίηση είναι μια αναδυόμενη περιοχή που επηρεάζει πολλούς τομείς, ειδικά στην ανάπτυξη εξατομικευμένων υπηρεσιών φροντίδας υγείας και

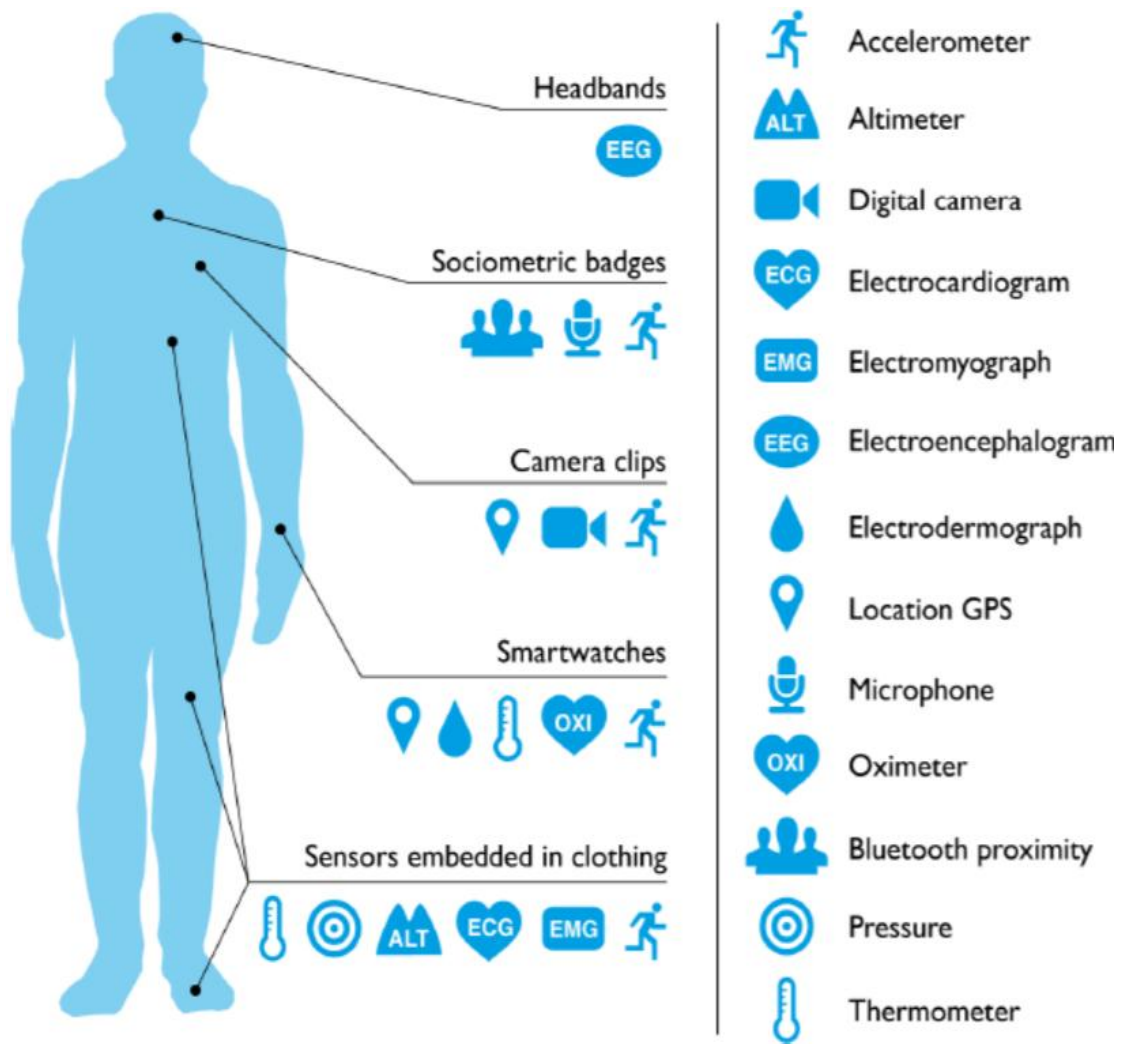


διαγνωστικών συστημάτων. Μεταξύ άλλων, το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης του μικρο-ρευστού συστήματος δίνεται από τη δυνατότητα αντιμετώπισης των μικρο-όγκων του δείγματος-στόχου, λαμβάνοντας ακριβώς τις ίδιες πληροφορίες που παρέχονται με τυποποιημένες αναλυτικές τεχνικές. Παρ' όλα αυτά, ο ιδρώτας εξακολουθεί να είναι ένα πολύ ανεξερεύνητο σωματικό υγρό για ανάλυση χρησιμοποιώντας μικρορευστοειδή συστήματα.

Αν και η υλοποίηση ενός συστήματος ικανό να εκπληρώσει όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές δεν θα είναι εύκολο να επιτευχθεί, φαίνεται ότι η χρήση της μικρο-ρευστοποιητικής τεχνολογίας είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για την επιτυχία όπου άλλες μέθοδοι έχουν αποτύχει ή έδειξαν περιορισμούς στη δειγματοληψία του ιδρώτα. Συγκεκριμένα, επειδή απαιτούνται όγκοι ιδρώτα μικρολίτρου για την πραγματοποίηση αυτών των μετρήσεων, το σύστημα χειρισμού υγρών του αισθητήρα μπορεί να απλοποιηθεί και να μειωθεί το μέγεθος. Ωστόσο, το κύριο πλεονέκτημα βασίζεται στη δυνατότητα ενσωμάτωσης της ενεργού περιοχής ανίχνευσης στο εσωτερικό του μικρο-ρευστού καναλιού, ελαχιστοποιώντας έτσι την καθυστέρηση μεταξύ της δειγματοληψίας και της ανάλυσης του δείγματος [31].

## **6. Παραδείγματα Φορετών (Wearable) Εφαρμογών στην Υγεία**

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 φορετές 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 φορετών συσκευών 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. Στην εικόνα που ακολουθεί έχουμε ένα παράδειγμα από αισθητήρες που μπορούν να τοποθετηθούν κατά μήκος του ανθρώπινου σώματος.



Εικόνα 6.1 Φορητοί Αισθητήρες και Σημεία Εφαρμογής [53]

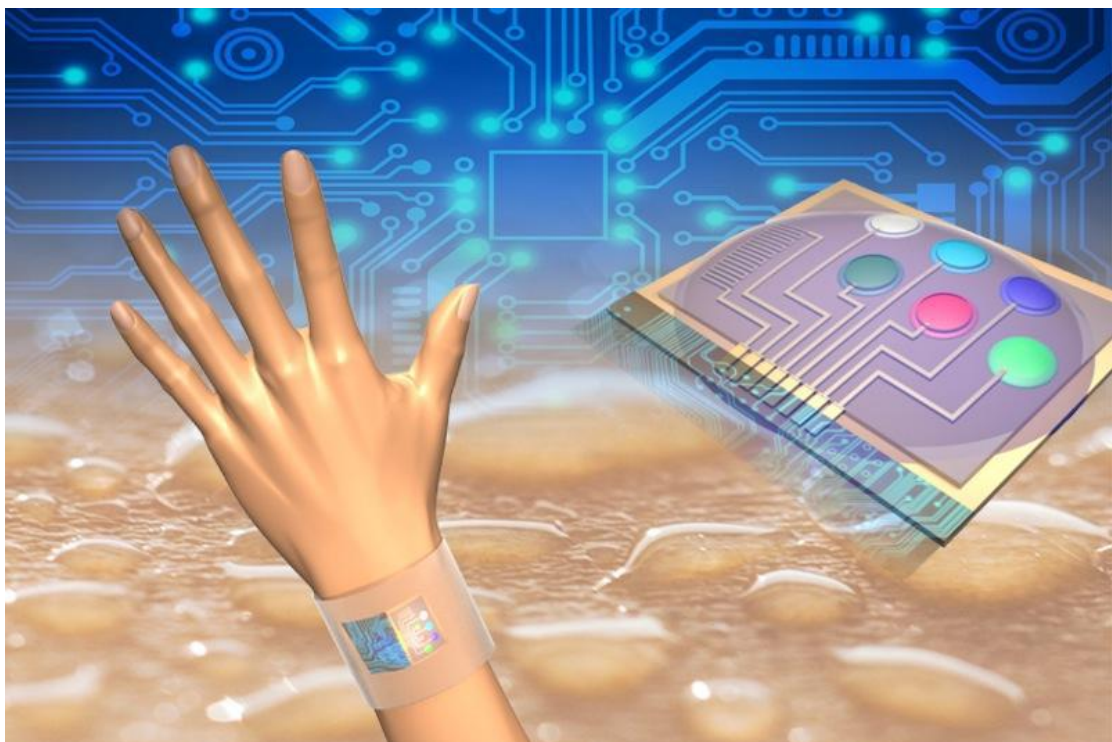
Στις μέρες μας οι εξετάσεις αίματος επιτρέπουν στους γιατρούς να αναλύσουν την κατάσταση της υγείας των ανθρώπων. Στο μέλλον, μπορεί να υπάρχει μια λιγότερο επεμβατική μέθοδος για την απόκτηση πολύτιμων πληροφοριών για την υγεία ενός ατόμου: Οι φορητοί αισθητήρες που χρησιμοποιούν ανθρώπινο ιδρώτα για να ψάξουν για σημάδια κάποιας νόσου.

Ο ιδρώτας είναι μια πλούσια πηγή των χημικών στοιχείων που θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους γιατρούς να διαπιστώσουν τι συμβαίνει μέσα στο ανθρώπινο σώμα, οι επιστήμονες εξηγούν σε μια νέα μελέτη.

Ο ανθρώπινος ιδρώτας είναι φορτωμένος με μόρια, που κυμαίνονται από απλά ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα σε πιο πολύπλοκες πρωτεΐνες και οι γιατροί μπορούν να

χρησιμοποιήσουν τον ιδρώτα για τη διάγνωση ορισμένων ασθενειών, την διαπίστωση της χρήσης ναρκωτικών και τη βελτιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης.

Ενώ, όπως δήλωσε ηλεκτρολόγος μηχανικός στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, Μπέρκλεϋ, που ασχολείται με την έρευνα "Ο ιδρώτας είναι αρκετά ελκυστικός για επέμβαση και χρήση φορητών αισθητήρων, δεδομένου ότι είναι πολύ εύκολο να αναλυθεί καθώς έχει πολλές πληροφορίες για την υγεία ενός ατόμου σε αυτό".



*Εικόνα 6.2 Wearables αισθητήρων θα μπορούν να αναλύσουν και να μετρήσουν τη θερμοκρασία του δέρματος, και τα επίπεδα των μεταβολιτών και των ηλεκτρολυτών στον ανθρώπινο ιδρώτα [54]*

Η έννοια της φορητής τεχνολογίας εξελίσσεται για να είναι ακόμα πιο προσωπική και αποτελεσματική και όχι μόνο προς όφελος του χρήστη. Οι μέλλουσες μητέρες θα φοράνε το ηλεκτρονικό "τατουάζ" -smart ανίχνευσης (αυτοκόλλητο) όπου μπορούν να παρακολουθούν τον εμβρυϊκό καρδιακό ρυθμό και τα εγκεφαλικά κύματα, επίσης την ανίχνευση πρώιμων συμπτωμάτων ή ακόμη και ειδοποίηση του γιατρού άμεσα, όταν έρθει η ώρα η εγκυμονούσα να πάει στο νοσοκομείο [32].



*Εικόνα 6.2 Ηλεκτρονικό Τατουάζ φορετής εφαρμογής για εγκύους [55]*

Το γνωστό εργαστήριο Google X της εταιρίας, ασχολείται με νέες τεχνολογίες σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από το διάστημα μέχρι την υγεία του ανθρώπου. Ένα από τα projects που αποκαλύφθηκαν πέρυσι ήταν ένα χάπι το οποίο θα μπορούσε να ανιχνεύσει τον καρκίνο, καθώς και άλλες ασθένειες. Τώρα μια νέα κατάθεση πατέντας με την ονομασία “Nanoparticle Phoresis” μας αποκαλύπτει μια φορετή συσκευή η οποία θα ανιχνεύει τα καρκινικά κύτταρα που θα βρίσκει στο σώμα ενός ανθρώπου, σε συνεργασία με το χάπι.

Το χάπι χρησιμοποιεί νάνο-σωματίδια από οξείδιο σιδήρου για να ανιχνεύσει καρκινικά κύτταρα που παράγουν συγκεκριμένα βιοχημικά σήματα και κατόπιν προσκολλάται πάνω στα κύτταρα καθώς ταξιδεύουν μέσα στο σώμα. Η νέα συσκευή περιγράφεται ως ένα wrist band με την ιδιότητα να “μετατρέπει ή να καταστρέφει έναν ή περισσότερους στόχους στο αίμα, οι οποίοι έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία”. Οι στόχοι μπορεί να συμπεριλαμβάνουν ένζυμα, ορμόνες, πρωτεΐνες, κύτταρα ή άλλα μόρια.

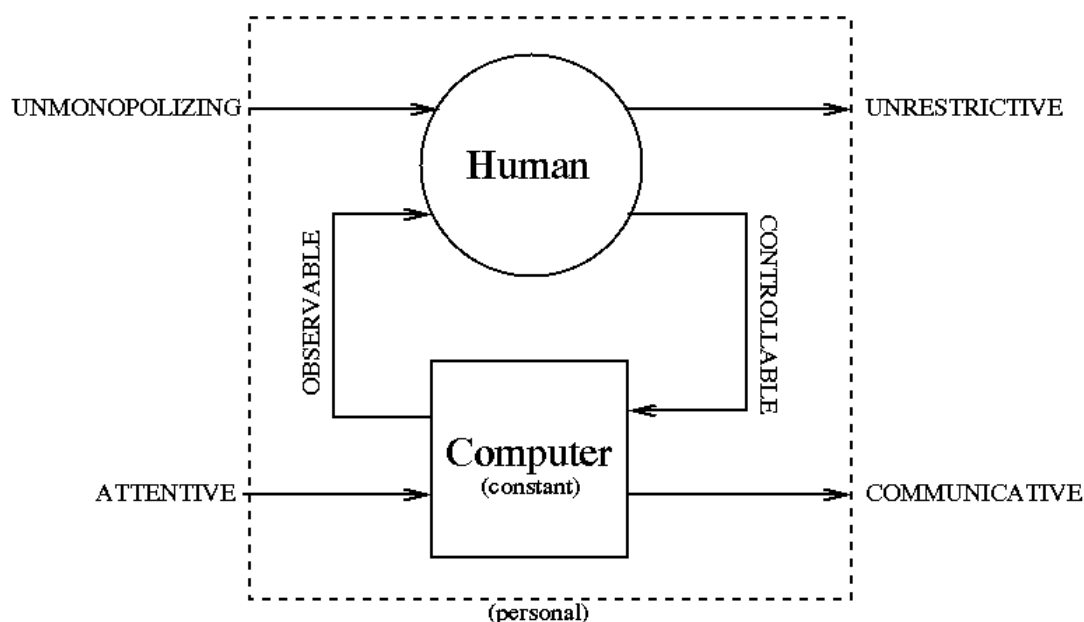
Η καταστροφή τους επιτυγχάνεται με εκπομπή ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι υπό διάφορες μορφές, όπως ραδιοσήματα, μαγνητικά πεδία, ακουστικοί παλμοί ή υπέρυθρο φως. Όταν τα στιγματισμένα κύτταρα περάσουν από τον καρπό μέσω της ροής αίματος, η φορετή συσκευή θα μπορεί όχι μόνο να τα ανιχνεύσει,

αλλά εφόσον έχουν σίδηρο, να τα προσροφήσει με τη χρήση μαγνητικού πεδίου, εξάγοντας τα από την κυκλοφορία του αίματος.

Η χρήση του δεν περιορίζεται σε καρκινικά κύτταρα. Αν οι επιστήμονες καταφέρουν να αναγνωρίσουν κύτταρα άλλων ασθενειών, η συσκευή θα μπορεί είτε να προσροφήσει είτε να καταστρέψει τα συγκεκριμένα κύτταρα. Ένα καλό παράδειγμα είναι συγκεκριμένες πρωτεΐνες που έχουν συνδεθεί με τη νόσο Parkinson.

## 7. Ιδιότητες Φορετών (Wearable) Συστημάτων Παρακολούθησης

Κατά τον Steve Mann υπάρχουν έξι διαδρομές ροής πληροφοριών οι οποίες σχετίζονται με αυτή τη νέα συνεργασία ανθρώπου-μηχανής. Αυτές οι διαδρομές ροής σημάτων είναι στην πραγματικότητα, ιδιότητες των φορετών συσκευών και περιγράφονται σε αυτό που προκύπτει από την άποψη του ανθρώπου, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί [34]:



Εικόνα 7.1 Οι έξι ιδιότητες των φορετών συσκευών

### Ελεγχόμενος από το χρήστη (Controllable)

Ο χρήστης μπορεί να πάρει τον έλεγχο οποιαδήποτε στιγμή επιθυμεί, ακόμη και στις αυτοματοποιημένες διαδικασίες ο χρήστης μπορεί χειρωνακτικά να αγνοήσει το σύστημα ελέγχου και να πάρει τον έλεγχο στα χέρια του οποιαδήποτε στιγμή θελήσει.

### Αισθητός από το χρήστη (Observable)

Μπορεί να τραβά συνεχώς την προσοχή του χρήστη, αν αυτός το επιθυμεί. Είναι σχεδόν πάντα αισθητός μέσα σε λογικούς περιορισμούς. Η συσκευή εξόδου (output medium) είναι συνεχώς αντιληπτή από το χρήστη.

### **Δεν μονοπωλούν την προσοχή του χρήστη (Unmonopolizing)**

Δεν αποκόπτουν τον χρήστη μακριά από τον εξωτερικό κόσμο όπως ένα παιχνίδι εικονικής πραγματικότητας ή κάτι άλλο. Ο χρήστης μπορεί να ανταποκριθεί και σε άλλα θέματα ενώ τα χρησιμοποιεί.

### **Δεν περιορίζουν τον χρήστη (Unrestrictive)**

Η φορητή συσκευή είναι κινητή, περιπλανώμενη, προσαρμοζόμενη στο σώμα του χρήστη. Ο ίδιος μπορεί να κάνει και άλλες δραστηριότητες όταν τον χρησιμοποιεί, π.χ μπορεί να δακτυλογραφεί όταν περπατάει.

### **Προσεκτικά προς το περιβάλλον (Attentive)**

Περιβαλλοντικά ενήμερα, πολύμορφα, μπορεί να διαθέτουν πολλές αισθητήριες συσκευές δίνοντας τελικά στον χρήστη υψηλό επίπεδο πληροφόρησης σχετικά με οποιαδήποτε κατάσταση.

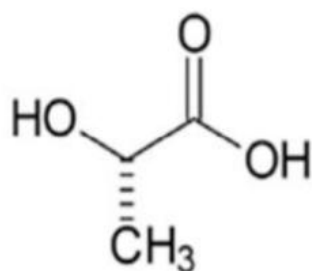
### **Μπορούν να επικοινωνούν με άλλα συστήματα (Communicative)**

Έχουν την δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με άλλα συστήματα ανταλλάσσοντας σημαντικές πληροφορίες και δεδομένα [35].

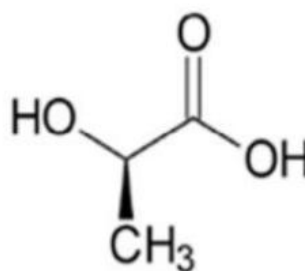


## 8. Το γαλακτικό οξύ

Το γαλακτικό οξύ ή 2-ύδροξυ-προπανικό οξύ ή α-υδροξυ-προπανικό οξύ είναι ένα καρβοξυλικό οξύ αναμίξιμο με το νερό και την αιθανόλη. Είναι χειρόμορφο μόριο και βρίσκεται σε δύο οπτικά ισομερείς μορφές, την D-μορφή και την L-μορφή. Οι δύο μορφές έχουν όμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες αλλά η D δεν μπορεί να μεταβολιστεί από τον ανθρώπινο οργανισμό αντίθετα με την L μορφή. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι ισομερείς μορφές του γαλακτικού οξέος (Ali, 2000).



(S) - γαλακτικό οξύ  
L- (+) -γαλακτικό οξύ



(R) - γαλακτικό οξύ  
D- (-) -γαλακτικό οξύ

*Εικόνα 8.1 Ισομερείς μορφές Γαλακτικού Οξέος [56]*

Το 1808 ο Τζον Τζακόμπ Μπερζέλιους ανακάλυψε πως το γαλακτικό οξύ παράγεται στους μύες κατά τη διάρκεια της σύσπασής τους και η δομή του εξακριβώθηκε το 1873 από τον Γιοχάνες Γουίσκενους. Το 1870 το γαλακτικό οξύ ανακαλύφθηκε από τον Σουηδό χημικό Carl Scheele, ο οποίος το απομόνωσε με απόσταξη από το ξινόγαλο από το οποίο ονομάστηκε και γαλακτικό. Το 1856 ο Luis Pasteur ανακάλυψε τους λακτοβάκιλλους και το ρόλο τους στην παραγωγή του γαλακτικού οξέος, το οποίο άρχισε να παράγεται για εμπορικούς σκοπούς από τη Γερμανική φαρμακευτική εταιρεία Boehringer Ingelheim το 1895.

Το γαλακτικό οξύ μπορεί να παρασκευαστεί είτε με χημική σύνθεση είτε βιοτεχνολογικά μέσω ζυμώσεων. Η χημική σύνθεση του γαλακτικού οξέος κατά κύριο λόγο βασίζεται στην υδρόλυση της λακτονιτρίλης από ισχυρά οξέα παράγοντας

ένα μίγμα των δυο ισομερών του D και L [36]. Αντίθετα, στο βιοτεχνολογικά παραγόμενο γαλακτικό οξύ με ζύμωση επικρατεί η μορφή του L - γαλακτικού οξέος, η οποία δεν είναι βλαβερή για τον ανθρώπινο οργανισμό όπως συμβαίνει με την D-μορφή.

Σχεδόν στο σύνολό του, το γαλακτικό οξύ βιομηχανικά παρασκευάζεται με ζύμωση. Συνήθως χρησιμοποιούνται ομοζυμωτικοί μικροοργανισμοί και πλήθος υποστρωμάτων, όπως, τυρόγαλα, μελάσα, γλυκόζη κ. ά. Κατά τη βιοτεχνολογική παρασκευή του γαλακτικού οξέος χρησιμοποιούνται υποστρώματα χαμηλού κόστους, συνήθως απόβλητα άλλων βιομηχανιών, απαιτείται χαμηλή θερμοκρασία παραγωγής, όπως επίσης και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας κατά τη ζύμωση των οξυγαλακτικών βακτηρίων.

Παρόλα αυτά η βιοτεχνολογική παραγωγή του γαλακτικού οξέως παρουσιάζει δύο κύρια μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι η χρήση υποστρωμάτων με υψηλό κόστος, λόγω της χρήσης σακχάρων ως πηγή άνθρακα. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με τη χρήση φθηνών πρώτων υλών όπως η μελάσα, το άμυλο, η λιγνίνη, καθώς και γεωργικά απόβλητα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποστρώματα για ζυμώσεις που έχουν ως στόχο την παραγωγή γαλακτικού οξέως. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά τα υλικά όπως το άμυλο και η λιγνίνη πρέπει να προεπεξεργάζονται μέσω φυσικοχημικών και ενζυματικών μεθόδων, αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα στις ζυμώσεις (Okano et al., 2010). Το δεύτερο εμπόδιο για την παραγωγή γαλακτικού οξέος, είναι το απαιτούμενο κόστος. Σε αυτό συντελεί η αποστείρωση η οποία είναι απαραίτητη στη ζύμωση για παραγωγή γαλακτικού οξέως. Μικροοργανισμοί με βέλτιστη θερμοκρασία ζύμωσης 30-42°C χρησιμοποιούνται συνήθως για τις βιομηχανικές εφαρμογές και ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να αποφευχθεί η μόλυνση αν το μέσο δεν είναι αποστειρωμένο. Επίσης, ο διαχωρισμός και οι διεργασίες καθαρισμού μετά τη ζύμωση μπορούν να αυξήσουν σημαντικά το κόστος της παραγωγής του γαλακτικού οξέος. Διάφοροι ερευνητές έχουν μελετήσει την αύξηση της απόδοσης στη ζύμωση για την παραγωγή γαλακτικού οξέως, όμως για να επιτευχθεί χρειάζονται περαιτέρω προσπάθειες (Chao et al., 2011).

Εν κατακλείδι, η βιοτεχνολογική παραγωγή του γαλακτικού οξέος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την χημική του σύνθεση, καθώς

συχνά χρησιμοποιεί υποστρώματα πολύ χαμηλού ή ακόμα και μηδαμινού κόστους, όπως το τυρόγαλα, που αντί για απόβλητο μπορεί να θεωρηθεί πρώτη ύλη για την παρασκευή του γαλακτικού οξέος. Επιπλέον, απαιτεί λιγότερες πρώτες ύλες σε σχέση με την χημική σύνθεση, παράγει καθαρό L – γαλακτικό οξύ και μπορεί να έχει σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση και σαν τεχνική να συνεισφέρει στην μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

## **8.1 Η χρησιμότητα του γαλακτικού οξέος στον αθλητισμό**

Η ανακάλυψη του γαλακτικού οξέος το 1780 οδήγησε πολλούς ερευνητές στην αναζήτηση της χρησιμότητάς του. Μελέτες έδειξαν ότι το γαλακτικό οξύ αυξάνεται κατά την μέτρια και υψηλής έντασης άσκηση, με αποτέλεσμα να αρχίσει να χρησιμοποιείται ως δείκτης αξιολόγησης της απόδοσης στον αθλητισμό (Eriksson, Karlsson και Saltin, 1971· Miller και Miller, 1949· van Hall, 2010). Όμως, σε μικρής έντασης άσκηση, η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος αυξάνεται πολύ λίγο ή και καθόλου (Knuttgen και Saltin, 1972). Στις περισσότερες έρευνες η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος μετρήθηκε στο αίμα, καθώς έχει βρεθεί ότι σχετίζεται με την συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στον ασκούμενο μυ (Eriksson και συν., 1971· Gollnick, Bayly και Hongson, 1986· Karlsson, Nordesjö, Jorfeldt, και Saltin, 1972· Knuttgen και Saltin, 1972· Saltin, Wahren, και Pernow, 1974· Μούγιος, 2008). Επιπλέον, στο αίμα υπάρχει μεγάλη επαναληψιμότητα της συγκέντρωσής του μετά από άσκηση (Crescitelli και Taylor, 1944· Nikolaidis και συν., 2013· Ohkuwa, Itoh, Yamazaki και Sato, 1995· Weltman και συν., 1990· Νικολαΐδης και συν., 2012).

Τρεις ευρέως αναγνωρισμένοι τύποι άσκησης είναι η άσκηση με αντιστάσεις, η άσκηση ταχύτητας και η άσκηση αντοχής. Υπάρχουν όμως και εναλλακτικοί τρόποι περιγραφής της άσκησης, όπως οι όροι αερόβια και αναερόβια άσκηση. Οι όροι αυτοί αναφέρονται στον κυρίαρχο τρόπο παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση (Μούγιος, 2008). Η αναερόβια άσκηση διακρίνεται παραπέρα σε αναερόβια αγαλακτική (αυτή δηλαδή που στηρίζεται κυρίως στο σύστημα ATP και φωσφοκρεατίνης) και αναερόβια γαλακτική άσκηση (Μούγιος, 2008). Στην παρούσα μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκε αναερόβια αγαλακτική άσκηση, γι αυτό το λόγο δεν θα αναφερθεί παρακάτω. Στην αναερόβια γαλακτική άσκηση η παραγωγή ενέργειας

πραγματοποιείται κυρίως από τον αναερόβιο καταβολισμό των υδατανθράκων μέσω της γλυκόλυσης, όπου παράγονται 2 ATP ανά γλυκόζη (McArdle και συν., 2001· Κλεισούρας, 2011· Ματζιάρη, 2009· Μούγιος, 2008). Αυτό το μεταβολικό μονοπάτι πραγματοποιείται σε όλα τα κύτταρα και επιταχύνεται στα μυϊκά κατά την έντονη άσκηση (Κλεισούρας, 2011· Ματζιάρη, 2009· Μούγιος, 2008). Λόγω της έντονης άσκησης, όπως οι ασκήσεις με αντιστάσεις, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας το δίνει το σύστημα γαλακτικού οξέος, επομένως η παραγωγή γαλακτικού οξέος στον μυ είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα (McArdle και συν., 2001· Μούγιος, 2008). Όσο μειώνεται η ένταση της άσκησης, τόσο περισσότερο επικρατεί η αερόβια παραγωγή ενέργειας (McArdle και συν., 2001· Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008) μέσω, μεταξύ άλλων, της οξειδωσης των υδατανθράκων, η οποία δίνει περισσότερη ενέργεια, καθώς παράγει 30 ATP ανά γλυκόζη (Μούγιος, 2008). Η μείωση της έντασης της άσκησης οδηγεί σε χαμηλότερη παραγωγή γαλακτικού οξέος στον μυ, γιατί το σύστημα γαλακτικού οξέος δίνει μικρότερο μέρος της ενέργειας, και έτσι έχουμε μικρότερη συγκέντρωσή του στο αίμα (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Σ' αυτό το είδος άσκησης παίρνει μέρος και το σύστημα οξυγόνου, το οποίο παρέχει ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας. Η ενεργητική αποκατάσταση (διάλειμμα με μείωση της έντασης) είναι ένας ακόμη παράγοντας που επιταχύνει την μείωση του γαλακτικού οξέος (McArdle και συν., 2001· Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Τέλος, ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας σε ασκήσεις χαμηλής ή μέτριας έντασης προέρχεται από την οξειδωση των λιπαρών οξέων, η οποία παράγει πολύ μεγάλες ποσότητες ATP (Μούγιος, 2008). Λόγω της χαμηλής έντασης της άσκησης, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργεια το δίνει το σύστημα οξυγόνου, επομένως το σύστημα γαλακτικού οξέος ένα πολύ μικρό μέρος της ενέργειας. Έτσι, η παραγωγή γαλακτικού οξέος στο μυ και στην συνέχεια η συγκέντρωσή του στο αίμα είναι ελάχιστη (Μούγιος, 2008). Από τα παραπάνω φαίνεται, ότι υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ του είδους της άσκησης και των ενεργειακών πηγών. Όταν η άσκηση είναι έντονη, η ενέργεια παράγεται κυρίως από τους υδατάνθρακες και ελάχιστα από τα λίπη, ενώ όσο μειώνεται η ένταση της άσκησης αλλάζει η αναλογία υδατανθράκων-λιπών και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αρχίζουν να το παράγουν τα λίπη (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Γι' αυτό και όσο μειώνεται η ένταση της άσκησης, η παραγωγή γαλακτικού οξέος είναι μικρότερη (Μούγιος, 2008). Μεγάλο ρόλο παίζει και η διάρκεια της άσκησης, καθώς σε μικρής διάρκειας άσκηση (όπου η ένταση μπορεί να είναι μεγάλη) η παραγωγή

ενέργειας προέρχεται κυρίως από τους υδατάνθρακες (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Όσο μεγαλώνει η διάρκεια της άσκησης, τόσο μειώνεται η παραγωγή ενέργειας από τους υδατάνθρακες και αυξάνεται από τα λίπη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή γαλακτικού οξέος (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008).

## **8.2 Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ανάλογα με το είδος άσκησης**

Τρεις ευρέως αναγνωρισμένοι τύποι άσκησης είναι η άσκηση με αντιστάσεις, η άσκηση ταχύτητας και η άσκηση αντοχής. Υπάρχουν όμως και εναλλακτικοί τρόποι περιγραφής της άσκησης, όπως οι όροι αερόβια και αναερόβια άσκηση. Οι όροι αυτοί αναφέρονται στον κυρίαρχο τρόπο παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση (Μούγιος, 2008). Η αναερόβια άσκηση διακρίνεται παραπέρα σε αναερόβια αγαλακτική (αυτή δηλαδή που στηρίζεται κυρίως στο σύστημα ATP και φωσφοκρεατίνης) και αναερόβια γαλακτική άσκηση (Μούγιος, 2008). Στην παρούσα μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκε αναερόβια αγαλακτική άσκηση, γι αυτό το λόγο δεν θα αναφερθεί παρακάτω [37].

Στην αναερόβια γαλακτική άσκηση η παραγωγή ενέργειας πραγματοποιείται κυρίως από τον αναερόβιο καταβολισμό των υδατανθράκων μέσω της γλυκόλυσης, όπου παράγονται 2 ATP ανά γλυκόζη (McArdle και συν., 2001· Κλεισούρας, 2011· Ματζιάρη, 2009· Μούγιος, 2008). Αυτό το μεταβολικό μονοπάτι πραγματοποιείται σε όλα τα κύτταρα και επιταχύνεται στα μυϊκά κατά την έντονη άσκηση (Κλεισούρας, 2011· Ματζιάρη, 2009· Μούγιος, 2008). Λόγω της έντονης άσκησης, όπως οι ασκήσεις με αντιστάσεις, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας το δίνει το σύστημα γαλακτικού οξέος, επομένως η παραγωγή γαλακτικού οξέος στον μυ είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα (McArdle και συν., 2001· Μούγιος, 2008). Όσο μειώνεται η ένταση της άσκησης, τόσο περισσότερο επικρατεί η αερόβια παραγωγή ενέργειας (McArdle και συν., 2001· Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008) μέσω, μεταξύ άλλων, της οξειδωσης των υδατανθράκων, η οποία δίνει περισσότερη ενέργεια, καθώς παράγει 30 ATP ανά γλυκόζη (Μούγιος, 2008).

Η μείωση της έντασης της άσκησης οδηγεί σε χαμηλότερη παραγωγή γαλακτικού οξέος στον μυ, γιατί το σύστημα γαλακτικού οξέος δίνει μικρότερο μέρος της ενέργειας, και έτσι έχουμε μικρότερη συγκέντρωσή του στο αίμα (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Σ' αυτό το είδος άσκησης παίρνει μέρος και το σύστημα οξυγόνου, το οποίο παρέχει ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας. Η ενεργητική αποκατάσταση (διάλειμμα με μείωση της έντασης) είναι ένας ακόμη παράγοντας που επιταχύνει την μείωση του γαλακτικού οξέος (McArdle και συν.,2001· Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Τέλος, ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας σε ασκήσεις χαμηλής ή μέτριας έντασης προέρχεται από την οξειδωση των λιπαρών οξέων, η οποία παράγει πολύ μεγάλες ποσότητες ATP (Μούγιος, 2008). Λόγω της χαμηλής έντασης της άσκησης, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργεια το δίνει το σύστημα οξυγόνου, επομένως το σύστημα γαλακτικού οξέος ένα πολύ μικρό μέρος της ενέργειας. Έτσι, η παραγωγή γαλακτικού οξέος στο μυ και στην συνέχεια η συγκέντρωση του στο αίμα είναι ελάχιστη (Μούγιος, 2008). Από τα παραπάνω φαίνεται, ότι υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ του είδους της άσκησης και των ενεργειακών πηγών. Όταν η άσκηση είναι έντονη, η ενέργεια παράγεται κυρίως από τους υδατάνθρακες και ελάχιστα από τα λίπη, ενώ όσο μειώνεται η ένταση της άσκησης αλλάζει η αναλογία υδατανθράκων-λιπών και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αρχίζουν να το παράγουν τα λίπη (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Γι' αυτό και όσο μειώνεται η ένταση της άσκησης, η παραγωγή γαλακτικού οξέος είναι μικρότερη (Μούγιος, 2008). Μεγάλο ρόλο παίζει και η διάρκεια της άσκησης, καθώς σε μικρής διάρκειας άσκηση (όπου η ένταση μπορεί να είναι μεγάλη) η παραγωγή ενέργειας προέρχεται κυρίως από τους υδατάνθρακες (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008). Όσο μεγαλώνει η διάρκεια της άσκησης, τόσο μειώνεται η παραγωγή ενέργειας από τους υδατάνθρακες και αυξάνεται από τα λίπη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή γαλακτικού οξέος (Κλεισούρας, 2011· Μούγιος, 2008).

### **8.3 Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα ανάλογα με το είδος άσκησης**

Η έκκριση γαλακτικού οξέος στα ούρα, μετά από μυϊκή άσκηση, αναφέρθηκε από τον Spiro το 1877-87 (όπως αναφέρεται από Judge και Eys, 1962· Miller και Miller, 1949). Ωστόσο οι έρευνες που έχουν γίνει γύρω από αυτό το θέμα είναι λίγες,

με αποτέλεσμα τα δεδομένα να μην καλύπτουν όλα τα είδη άσκησης. Σε έρευνες όπου η ένταση της άσκησης ήταν μέγιστη αναφέρονται συνήθως υψηλές συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος στα ούρα (Judge and Eys, 1962· Liljestrand και Wilson, 1925· Mckelvie και συν.,1989· Nikolaidis και συν., 2013· Νικολαΐδης και συν., 2012· Παπαιωάννου και συν., 2011· Τσαλής και συν., 2011).

Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος κορυφώνεται περίπου στα 20-40 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης (Johnson και Edwards, 1937· Liljestrand και Wilson, 1925· Mckelvie και συν., 1989· Τσαλής και συν., 2011). Ωστόσο υψηλή συγκέντρωση παρουσιάζεται και στα 60 λεπτά (Nikolaidis και συν., 2013· Νικολαΐδης και συν., 2012· Παπαιωάννου και συν., 2011). Αδημοσίευτα δεδομένα του εργαστηρίου έδειξαν ότι η μία ώρα μετά την άσκηση είναι ικανό χρονικό διάστημα για να κορυφωθεί η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στα ούρα. Έρευνα έχει δείξει ότι η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος βρίσκεται σε συμφωνία με την αυξημένη αναερόβια διάσπαση υδατανθράκων, δηλαδή αυξάνεται στην άσκηση υψηλής έντασης (Τσαλής και συν., 2011). Επιπλέον, γίνεται αναφορά ότι η έκκριση γαλακτικού και πυροσταφυλικού οξέος είναι παρόμοια σε ούρα και αίμα μετά από έντονη άσκηση (Johnson και Edwards, 1937). Στην έρευνα των Τσαλή και συν. (2011) φαίνεται ότι μεταξύ των τιμών γαλακτικού οξέος στα ούρα και στο αίμα υπάρχει μέτρια συσχέτιση. Επίσης, υπάρχουν αναφορές ότι η επαναληψιμότητα ήταν στατιστικά σημαντική (Nikolaidis και συν., 2013· Παπαιωάννου και συν., 2011), αλλά χαμηλότερη από του αίματος (Nikolaidis και συν., 2013). Έρευνα των Νικολαΐδη και συν. (2012) σε έφηβους προπονημένους κολυμβητές έδειξε ότι στην δοκιμασία των 3 × 100 m υπήρχε επαναληψιμότητα, αλλά στην δοκιμασία των 6 x 50 m η επαναληψιμότητα δεν ήταν σημαντική . Τέλος, φαίνεται ότι η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στα ούρα πιθανώς είναι περισσότερο ευαίσθητος δείκτης της συμμετοχής του αναερόβιου μεταβολισμού των υδατανθράκων στην παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης (Τσαλής και συν., 2011). Σε έρευνα των Crescitelli και Taylor (1944) εξετάστηκαν τρεις ομάδες ανθρώπων μετά από 15 min αερόβιας άσκησης. Η πρώτη ομάδα αποτελούνταν από προπονημένους, η δεύτερη από άτομα που γυμνάζονταν τακτικά και η τρίτη από άτομα που γυμνάζονταν λίγο ή έκαναν καθιστική ζωή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το γαλακτικό οξύ στα ούρα, όπως και στο αίμα, σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με την φυσική κατάσταση, καθώς η μεγαλύτερη μέση τιμή σημειώθηκε στην τρίτη ομάδα, η ενδιάμεση μέση

τιμή στην δεύτερη ομάδα και η χαμηλότερη μέση τιμή στην πρώτη ομάδα. Σε άσκηση μέτριας έντασης οι Hewlett και συν. (1926) αναφέρουν ότι υπήρξε σημαντική αύξηση του γαλακτικού οξέος στα ούρα, ενώ μετά από περπάτημα δεν υπήρξε αύξηση. Σε έρευνες αναφέρεται πως, για να υπάρξει σημαντική ποσότητα γαλακτικού οξέος στα ούρα, πρέπει το γαλακτικό οξύ στο αίμα να φτάσει τα 4,5-6,6 mmol/L (Hewlett και συν., 1926· Miller και Miller, 1949). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ της έντασης της άσκησης και της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος στα ούρα. Ωστόσο οι έρευνες είναι λίγες και τα δεδομένα αντικρουόμενα. Ιδιαίτερα περιορισμένη είναι η βιβλιογραφία γύρω από τη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στα ούρα μετά από άσκηση μέτριας έντασης [38].



## 9. Εφαρμογές Φορητών Συσκευών στον Αθλητισμό

Η συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες και η συχνή άσκηση είναι απαραίτητες όχι μόνο απλά για έναν υγιή τρόπο ζωής αλλά και για τη βελτίωση ποιότητας της καθημερινότητας καθώς έχουν επίσης κοινωνικά και ψυχικά οφέλη. Για παράδειγμα η σωματική άσκηση βελτιώνει το ανοσοποιητικό σύστημα, ενισχύει την αυτοπεποίθηση και την αυτοεκτίμηση και τα ομαδικά σπορ βοηθούν στην ανάπτυξη των κοινωνικών ικανοτήτων [39].

Wearable συσκευές παρέχουν υπηρεσίες σε ερασιτέχνες ή επαγγελματίες αθλητές και προπονητές. Κάποια από αυτά τα οφέλη είναι η ασφάλεια των αθλητών, προστασία από τραυματισμούς και μετρήσεις φυσικής κατάστασης και απόδοσης. Τα wearables πλέον βοηθούν ακόμα και στην εκμάθηση ή τη βελτίωση των επιδόσεων, όπως στο άθλημα του γκολφ, όπου σε προπονήσεις είναι ευρέως διαδεδομένο οι αθλητές να φορούν wristbands ώστε να βελτιώσουν την τεχνική του χτυπήματός τους.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα, όπως αναφέρουν οι ίδιοι οι χρήστες, είναι πως οι συσκευές τους βοηθούν σημαντικά να είναι συνεπείς στην καθημερινή τους άσκηση. Τα στοιχεία τη αγοράς δείχνουν ότι οι χρήστες ηλικιών μεταξύ 18 και 54 χρονών αποτελούν σχεδόν το 77% των χρηστών wearable. Οι άνθρωποι πλέον δέχονται σιγά σιγά τη wearable τεχνολογία στην άθλησή τους και την ενσωματώνουν ως φυσιολογικά στοιχείο της καθημερινότητάς τους.

Τα οφέλη όμως μπορούν να είναι εξίσου σημαντικά και για τους φιλάθλους, αναβαθμίζοντας αισθητά την εμπειρία παρακολούθησης του αθλήματος. Με ασύρματους αισθητήρες ενσωματωμένους στις στολές των αθλητών, οι φίλαθλοι έχουν real-time πρόσβαση σε δεδομένα παρακολούθησης της κίνησης και σε στατιστικά όπως επιτάχυνση και μέγιστη ταχύτητα. Με τη συνδρομή αναλυτικών στοιχείων και γραφικών αλλάζει δραματικά η ζωντανή μετάδοση αθλητικών γεγονότων.

Η αγορά των wearable συσκευών για την άθληση περιλαμβάνει μέχρι και «έξυπνα» υφάσματα ή εκτυπωμένα ηλεκτρονικά υλικά. Τα «έξυπνα» ρούχα από εταιρείες όπως η Sarvint Technologies ή το εκτυπώσιμο ηλεκτρονικό μελάνι της DuPont Chemicals Company αναδεικνύουν άλλες δυνατότητες στον τομέα του αθλητισμού. Η Sarvint χρησιμοποιεί ειδικές ίνες οι οποίες, όντας πλεγμένες στα

ρούχα, λειτουργούν ως αγωγοί που εκπέμπουν και λαμβάνουν σήματα του σώματος προς και από μια κεντρική υπολογιστική μονάδα. Αντίστοιχα η Dupont έχει αναπτύξει αγωγίμο μελάνι το οποίο επιτρέπει την εκτύπωση του κυκλώματος πάνω στο ρούχο, όπου αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν με έναν κεντρικό επεξεργαστή.

Ο επαγγελματικός αθλητισμός είναι μια τεράστια παγκόσμια βιομηχανία. Στη βιομηχανία αυτή κάθε επαγγελματίας αθλητής οφείλει να λαμβάνει μετρήσεις των σωματικών του παραμέτρων και να έχει ποσοτικοποιημένα, έγκυρα δεδομένα των επιδόσεών του. Με αυτόν τον τρόπο ο εκάστοτε προπονητής, γυμναστής, ο ίδιος ο αθλητής αλλά και μια σειρά ανθρώπων που ασχολούνται και επενδύουν στο χώρο του επαγγελματικού αθλητισμού έχουν ακριβή γνώση των επιδόσεων του αθλητή, του επιπέδου φυσικής κατάστασης στο οποίο βρίσκεται, των ενεργειακών απαιτήσεων του αθλήματός του και άλλων πολλών στοιχείων του. Οι πληροφορίες αυτές διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο καθώς, για παράδειγμα, ο προπονητής σχεδιάζει και προσαρμόζει ανάλογα την προπόνηση ή οι μέτοχοι ενός συλλόγου αποφασίζουν αν αξίζει να δαπανηθούν χρήματα για τον αθλητή αυτόν. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν μέσα από μια σειρά εξετάσεων και δοκιμασιών. Οι αρχές που διέπουν κάθε τεστ είναι ότι θα πρέπει να είναι έγκυρο, αξιόπιστο, αντικειμενικό και να κουράζει τον αθλητή όσο το δυνατόν λιγότερο. Κάποιες από τις κυριότερες εξετάσεις τις οποίες υποβάλλεται ένας αθλητής και οι οποίες δίνουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για τη φυσιολογία του είναι οι ακόλουθες: αιματολογικές εξετάσεις, λιπομέτρηση, καρδιογράφημα, μυοσκελετική σταθερότητα, ισοκινητική δυναμομέτρηση, τεστ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, μέτρηση δύναμης κάτω άκρων, τεστ ευλυγισίας και ρυθμός ανάπτυξης δύναμης.

Πολλές από τις παραπάνω μετρήσεις και εξετάσεις όμως αμφισβητούνται ως μη αξιόπιστες καθώς δεν πραγματοποιούνται στις ρεαλιστικές συνθήκες του αθλήματος. Κατά τη διάρκεια της πραγματικής διεξαγωγής του αθλήματος υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις επιδόσεις ενός αθλητή. Για παράδειγμα σίγουρα ένα τεστ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ενός μαραθωνοδρόμου θα μας δώσει πληροφορίες για την αντοχή του, αλλά θα αφήσει ερωτηματικά για το κατά πόσο αυτή είναι η αντοχή του αθλητή σε συνθήκες ηλιοφάνειας, ψυχολογικής πίεσης και ανταγωνισμού [40].

Η wearable τεχνολογία φαίνεται ότι δίνει τη λύση και σε αυτό το πρόβλημα. Επιτρέποντας, σε συνδυασμό με το κατάλληλο software, την εξέταση φυσικών, τεχνικών και τακτικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια προπονήσεων ή αγώνων, προσφέροντας ακόμα και real-time δεδομένα. Χάρη στην εξέλιξη και εξάπλωση των wearables παρατηρείται μεγάλη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα. Ας δούμε μερικά παραδείγματα. Μέχρι τα τέλη του 20ου αιώνα η καθιερωμένη διαδικασία για τη μέτρηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης ενός αθλητή περιελάμβανε δύο σημεία (έναρξη-τερματισμός) τα οποία οριοθετούσαν μια συγκεκριμένη απόσταση και έναν επιβλέποντα (συνήθως γυμναστή) ο οποίος κρατώντας χρονόμετρο κατέγραφε τους χρόνους του αθλητή. Στη συνέχεια, με αριθμητικές πράξεις υπολογιζόταν η μέγιστη ταχύτητα και η επιτάχυνση. Στην προσπάθειά των επιστημόνων να καταστήσουν τα τεστ πιο έγκυρα απαιτούνταν (σε αθλήματα όπως το μπάσκετ ή το ποδόσφαιρο) ακόμα πιο πολύπλοκες, χρονοβόρες και κουραστικές διαδικασίες για τον αθλητή και το γυμναστή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πολύ γνωστό “Yo-Yo test”. Το “Yo-Yo test” αναπτύχθηκε από τον Jens Bangsbo και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης τη δεκαετία του 90. Αποτελούσε το πρωταρχικό εργαλείο αξιολόγησης της αντοχής ενός αθλητή, αλλά και πεδίο διαφωνιών μεταξύ των επιστημόνων για την εγκυρότητά του. Το τεστ περιλαμβάνει συνεχείς αλλαγές κατεύθυνσης και σπριντ ώστε να προσομοιάζει τις συνθήκες πχ. ενός αγώνα ποδοσφαίρου, μπάσκετ ή αμερικάνικου ποδοσφαίρου. Είναι κουραστικό, χρονοβόρο και ποτέ δεν κατάφερε να αποκτήσει ξεκάθαρους κανόνες πραγματοποίησης και να αποτελέσει ένα ενιαίο αδιαμφισβήτητο μέτρο σύγκρισης για τους αθλητές. Σήμερα, με ένα wearable watch το οποίο περιλαμβάνει gps ή με τη χρησιμοποίηση semi-automatic player tracking technologies τα ίδια στοιχεία είναι στη διάθεση του αθλητή ή του προπονητή, με απόλυτη ακρίβεια και συλλεγμένα σε πραγματικές συνθήκες του εκάστοτε αθλήματος. Αντίστοιχα, μέχρι πρόσφατα στους ποδοσφαιριστές το τεστ τεστ ανοχής στο γαλακτικό οξύ πραγματοποιούνταν όπως περιγράφηκε πιο πάνω, με τις όποιες αντιρρήσεις ως προς τη αξιοπιστία του. Πλέον οι ποδοσφαιρικές ομάδες, εκτός από το παραδοσιακό τεστ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, χρησιμοποιούν wearable και micro-technology [41].

Το καλοκαίρι του 2018, ο αγγλικός ποδοσφαιρικός σύλλογος Liverpool FC πραγματοποίησε τη μέτρηση του επίπεδου γαλακτικού οξέος των ποδοσφαιριστών

κατά τη διάρκεια προπόνησης χρησιμοποιώντας το Biosen C-Line glucose and lactate analyzer (chip sensor technology με αποτελέσματα σε 20-45 sec) [73]. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρησιμότητας των wearables είναι η μέτρηση αποστάσεων που καλύπτει ένας αθλητής κατά τη διάρκεια του αθλήματος στο οποίο αγωνίζεται. Αυτό είναι κάτι εύκολο όταν πρόκειται πχ. για δρομείς οι οποίοι διανύουν μια προκαθορισμένη απόσταση, κολυμβητές σε μια πισίνα ή είναι αδιάφορο ως δεδομένο σε ένα άθλημα όπως το βόλεϊ ή το τένις. Στο δημοφιλές άθλημα του ποδοσφαίρου, το οποίο είναι παράλληλα μια βιομηχανία τρισεκατομμυρίων ευρώ, είναι μείζονος σημασίας να είναι γνωστή η συνολική απόσταση που καλύπτει ο κάθε ποδοσφαιριστής στα 90 λεπτά του αγώνα. Για να το καταφέρουν αυτό ένα επιτελείο εργαζόταν αποκλειστικά για τον όσο το δυνατόν καλύτερο υπολογισμό των χιλιομέτρων που διένυσαν οι αθλητές μέσω βίντεο. Ήταν μια πολύ απαιτητική διαδικασία, εξαιτίας της ταχύτητας του αθλήματος, του αριθμού αθλητών και της μεγάλης επιφάνειας διεξαγωγής του αγώνα, η οποία χρειαζόταν περίπου 32 εργατοώρες για να ολοκληρωθεί με τη βοήθεια πολλαπλών καμερών και αλγορίθμων. Στις μέρες μας, οι προπονητές και οι παράγοντες των ποδοσφαιρικών συλλόγων γνωρίζουν ακριβώς πόσο έτρεξαν στον αγώνα οι ακριβοπληρωμένοι παίκτες τους χάρη σε γιλέκα με ενσωματωμένο GPS τα οποία φορούν οι αθλητές κάτω από τις μπλούζες τους.

Τέλος σε αθλήματα όπως το ράγκμπι και το αμερικάνικο ποδόσφαιρο με συχνές και σκληρές σωματικές επαφές είναι ιδιαίτερα διαφωτιστικό να υπάρχει ακριβής μέτρηση των συγκρούσεων του κάθε αθλητή, δεδομένου ότι κάθε σύγκρουση επιφέρει μεγάλο ενεργειακό φόρτο και καταπόνηση στον αθλητή. Πριν δέκα χρόνια η διαδικασία αυτή απαιτούσε βιντεοσκόπηση του αγώνα ή του παιχνιδιού και ανάλυσή του. Σήμερα χάρη σε sports wearables είναι ακόμα ένα στατιστικό το οποίο υπολογίζεται αυτόματα [42].

## **9.1 Εργομετρικά Τεστ**

Η τεχνολογία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον Αθλητισμό. Η ανάπτυξη των φορέσιμων συσκευών βοηθάει στην βελτίωση των επιδόσεων του αθλητή αλλά και στη πρόληψη ατυχημάτων. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στην

αντικατάσταση των ογκωδών έξυπνων ενδυμάτων, με τη χρήση μικρών και διακριτικών συσκευών όπως smartbands και smartwatches. Οι wearables συσκευές συμβάλλουν σαν εργομετρικά τεστ για την επίδοση των Αθλητών.

Η έννοια εργομετρικός έλεγχος ή αξιολόγηση αθλητικής απόδοσης μπορεί να είναι σε κάποιους κάτι καινούργιο ή κάτι νέο, παρόλα αυτά εδώ και αρκετά χρόνια η επιστημονική αξιολόγηση αθλητικής απόδοσης έχει μπει στην ζωή μας.

Η μέτρηση κάποιων παραμέτρων που αξιολογούν τη φυσική κατάσταση ήταν πριν από μερικά χρόνια προνόμιο των επαγγελματιών αθλητών. Πλέον πολλές ακαδημίες και προπονητές με την ενημέρωση που υπάρχει μέσω (διαδικτύου , περιοδικών , βιβλίων, κλπ) έχουν πειστεί για την χρησιμότητα αυτών των μετρήσεων.

Ενας εργομετρικός έλεγχος θεωρείται απαραίτητος και ιδιαίτερα χρήσιμος για τον καρτισμό του προπονητικού προγράμματος και τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης για τον αθλητή. Η φυσική κατάσταση, η πρόσληψη οξυγόνου από τον αθλητή και η συγκέντρωση γαλακτικού οξέως στο αίμα του, είναι μερικοί από τους δείκτες ενός εργομετρικού ελέγχου.

Δεδομένου ότι υπάρχει ένα πλήθος παραμέτρων που εκφράζουν το επίπεδο της αθλητικής προετοιμασίας και η ετοιμότητας όπως (η αλτικότητα, η διαφορά ανάμεσα στα πόδια , η αξιολόγηση της ταχύτητας και η ανάλυση της σωματικής σύστασης για τον έλεγχο της μυϊκής μάζας ) που ορίζουν την ικανότητα αθλητή του στην επίδοση των αθλημάτων.

Για το σκοπό αυτό η τεχνολογία κατασκεύασε wearables τα οποία καλύπτουν ένα μέρος των παραπάνω παραμέτρων της εργομετρίας όπως η μέτρηση του καρδιακού ρυθμού, τα επίπεδα του οξυγόνου αλλά και η φυσική κατάσταση του αθλητή [43].

## **9.2 Είδη φορετών συσκευών στον αθλητισμό**

Τα πρώτα αθλητικά wearables ήταν τα έξυπνα ενδύματα, τα ρούχα δηλαδή που έλεγχαν την φυσική κατάσταση του αθλητή μέσω ειδικών αισθητηρίων που τοποθετούταν πάνω στα ρούχα. Ένα τέτοιο wearable είναι και το Wealthy jacket

(Φορετό Σύστημα Παρακολούθησης Υγείας)", που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου Wealthy [44].

Η λειτουργία του Wealthy jacket βασίζεται σε «έξυπνους αισθητήρες», οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στις ίνες και στα νήματα του ενδύματος, καθώς και σε τεχνολογίες επεξεργασίας σήματος και ασύρματα δίκτυα τρίτης γενιάς 3G. Συγκεκριμένα, όταν ο χρήστης φοράει το Wealthy jacket, παρακολουθούνται ταυτόχρονα σήματα των ζωτικών λειτουργιών του οργανισμού, όπως καρδιακοί παλμοί, ρυθμός αναπνοής, κίνηση και στάση, θερμοκρασία και οξυμετρία, τα οποία δίνουν πληροφορίες στους αισθητήρες για τις φυσικές λειτουργίες του ατόμου (ηρεμία, δράση, άσκηση, κρίση, κ.λπ.). Στη συνέχεια, τα αντίστοιχα μηνύματα μεταβιβάζονται στη φορητή μονάδα επεξεργασίας και μετάδοσης σημάτων. Τα σήματα συγκεντρώνονται στο λογισμικό διαχείρισης, όπου γίνεται η ανάλυση και ερμηνεία τους, προβλέπονται συμβάντα και εκδίδονται ειδοποιητήρια μηνύματα (alert messages), συνοπτικοί πίνακες για την κατάσταση του χρήστη και γραφικές παραστάσεις που καταχωρούνται στον Ηλεκτρονικό Φάκελο του αθλητή αλλά και του ασθενή για την παρακολούθηση της υγείας του σε βάθος χρόνου. Το Wealthy jacket μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατ' οίκον νοσηλεία, ασθενείς με χρόνια νοσήματα, αλλά και για τη μελέτη αθλητικών επιδόσεων, κ.λπ.

Εκτός από τα έξυπνα ενδύματα η Αθλητική τεχνολογία κατασκεύασε έξυπνα υποδήματα καταγραφής αθλητικής δραστηριότητας όπως το FootStriker , μια καινοτόμο τεχνολογία που βοηθάει τους χρήστες να τρέχουν σωστά χωρίς τραυματισμούς [45].

Το FootStriker χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα πίεσης που τοποθετείται στο εσωτερικό του πάτου του παπουτσιού. Κάθε φορά που ο δρομέας πάει να πατήσει λάθος με το πίσω μέρος του ποδιού του πρώτα, μεταδίδεται ένα σήμα σε ένα επίθεμα που έχει προσκολληθεί στο πίσω μέρος της γάμπας. Αυτό στέλνει μια μικρή δόση ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα οι μύες να ενεργοποιούνται, ώστε να διορθώσουν τη θέση του ποδιού στο επόμενο βήμα και το πόδι να πατήσει πρώτα με το μπροστινό μέρος του. Η συσκευή δοκιμάστηκε σε έξι ανθρώπους που έτρεξαν αρχικά μια απόσταση ενός χιλιομέτρου χωρίς το FootStriker και στη συνέχεια άλλα τρία χιλιόμετρα με τη συσκευή ενεργοποιημένη.

Στο πρώτο τμήμα του πειράματος (χωρίς το FootStriker) οι δρομείς πατούσαν λανθασμένα πρώτα τη φτέρνα του στο 95% κατά μέσο όρο του δρόμου. Αλλά όταν άρχισαν τα μίνι-ηλεκτροσόκ, το ποσοστό λάθους τρεξίματος έπεσε δραστικά στο 16%. Μάλιστα, όταν οι δρομείς έτρεξαν ένα τελευταίο πέμπτο χιλιόμετρο, με το FootStriker ξανά εκτός λειτουργίας, το ποσοστό λάθους βηματισμού είχε μειωθεί κι άλλο στο 8%, πράγμα που σημαίνει ότι είχαν πλέον μάθει να τρέχουν πιο σωστά. Επίσης, ακόμη κι όταν οι δρομείς φορούσαν τη συσκευή μόνο στο ένα πόδι, η βελτίωση υπήρχε και στα δύο πόδια [46].

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στο χώρο των wearables οδήγησε στη κατασκευή και χρήση διακριτικών συσκευών παρακολούθησης φυσικής δραστηριότητας όπως τα βραχιόλια. Ένα από τα πιο δημοφιλή βραχιόλια φορετής παρακολούθησης είναι το βραχιόλι Fitbit Flex 2. Αν και υπάρχουν στην αγορά διάφορα wearables και fitness trackers, τα οποία θεωρητικά είναι αδιάβροχα, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι ελάχιστα είναι κατάλληλα για κολύμβηση. Το Fitbit Flex 2 απέχει πολύ από την εποχή που τα wearables δεν μετρούσαν σωστά τις δραστηριότητες σας ή δεν ήταν συμβατά με το λογισμικό των συσκευών όπως για παράδειγμα των κινητών τηλεφώνων.

### Λειτουργίες Fitbit Flex 2

- Ειδοποίηση εισερχόμενων κλήσεων και μηνυμάτων του κινητού: Οι φωτεινές ενδείξεις των πέντε led της συσκευής δείχνουν διάφορα πράγματα, από το ποσοστό του ημερήσιου στόχου που έχει καλύψει ο χρήστης μέχρι τα μηνύματα και τις εισερχόμενες κλήσεις στο κινητό του. Η συσκευή δονείται

και αναβοσβήνει κάθε φορά που έρχεται ένα μήνυμα ή έχετε εισερχόμενη κλήση ή email στο κινητό του χρήστη. Αυτή η επιλογή είναι ιδανική, καθώς ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ειδοποιείται όταν χτυπάει το τηλέφωνό του την ώρα της γυμναστικής, ακόμα και αν δεν το έχει κοντά του.

- Μέτρηση καρδιακών παλμών και οξυγόνου : Μέσω του αισθητήρα μέτρησης καρδιακών παλμών που διαθέτει η συσκευή ο χρήστης μπορεί να ενημερώνεται για την αρτηριακή του πίεση, τους παλμούς της καρδιάς του αλλά και για τα επίπεδα του οξυγόνου.

- Μέτρηση θερμίδων και βημάτων: Μπορεί να μετράει τα βήματα, τις θερμίδες που καταναλώνει και τα λεπτά που πραγματοποιείται έντονη άσκηση.
- Μετρήσεις σχετικές με την ποιότητα ύπνου. Η εφαρμογή δεν καταγράφει απλώς πόσες ώρες κοιμήθηκε ο χρήστης, αλλά και αν πέρασε κάποια διαστήματα κατά τη διάρκεια της νύχτας που δεν κοιμόταν καθώς και άλλα στοιχεία. Έτσι έχει μια συνολική εικόνα για την ποιότητα του ύπνου, πόσες ώρες κοιμάται κατά μέσο όρο, πόσο βαθιά κλπ. Το Fitbit Flex 2 είχε ειδικό σύστημα στο software και στο hardware και μπορεί με ακρίβεια να καταλάβει πότε χρήστης κοιμάται. Ξεκινά να καταγράφει από τη στιγμή που ξαπλώνει ο χρήστης και συνεχίζει να παίρνει μετρήσεις μέχρι την ώρα που θα ξυπνήσει.
- Αναγνώριση των δραστηριοτήτων: Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της συσκευής είναι η αναγνώριση των δραστηριοτήτων του χρήστη. Μπορεί να αναγνωρίσει την δραστηριότητα που εκτελείται όπως περπάτημα, τρέξιμο, βόλτα με το ποδήλατο, ελλειπτικό μηχάνημα, ποδόσφαιρο, τένις και άλλες δραστηριότητες.
- Καθορισμός στόχων: Μπορεί ο χρήστης να θέτει ως στόχο μια συγκεκριμένη δραστηριότητα και να ενημερώνεται όταν την έχει πραγματοποιήσει. Αν για παράδειγμα θέσει ως στόχο να κάνει καθημερινά 5000 βήματα τότε για κάθε 1000 βήματα θα ανάβει και ένα από τα πέντε led της συσκευής. Όταν ολοκληρώσει τα 5000 βήματα τότε θα ανάψουν και τα πέντε led ενώ παράλληλα η συσκευή θα αρχίσει να δονείται για να ειδοποιήσει το χρήστη ότι πέτυχε το στόχο του [47].

### Wearable για κολύμβηση

Η Samsung Electronics και η Speedo International βοηθούν τους κολυμβητές σε όλον τον κόσμο να παρακολουθούν την προπόνησή τους, μέσω πρόσβασης στην πλατφόρμα κολύμβησης Speedo On. Η εφαρμογή παρακολούθησης κολύμβησης Speedo On διατίθεται στο νέο Samsung Gear Sport και στο Gear Fit2 Pro[30]. Και οι δυο συσκευές είναι πιστοποιημένες για ανθεκτικότητα στο νερό έως και 50 μέτρα.

Η εφαρμογή παρακολούθησης Speedo On καταγράφει τις βασικές μετρήσεις κολύμβησης, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού και του χρόνου των γύρων και του τύπου κολύμβησης, ώστε οι επιδόσεις της προπόνησης να παρακολουθούνται εύκολα και να ενσωματώνονται στους προσωπικούς στόχους φυσικής κατάστασης. Το Gear Sport είναι ένα κομψό και μοντέρνο smartwatch με καινοτόμα χαρακτηριστικά, ενώ



το Gear Fit2 Pro είναι ένα ολοκαίνουριο εργονομικό fitness band με συνεχή παρακολούθηση του καρδιακού παλμού και με GPS. Τα δεδομένα από την Speedo On είναι επίσης συμβατά με το Samsung Health, την ολοκληρωμένη πλατφόρμα παρακολούθησης της Samsung για τη φυσική κατάσταση, ώστε να παρέχουν μια ευρύτερη εικόνα πληροφοριών υγείας και ευεξίας.

### Χαρακτηριστικά του Gear Sport

Το Gear Sport είναι κομψό αλλά και πρακτικό, διαθέτει μινιμαλιστική κυκλική στεφάνη, με " Super AMOLED 1.2" οθόνη και ενισχυμένη εμπειρία χρήσης, καθιστώντας εύκολη την προβολή πληροφοριών ακόμα και εν κινήσει. Οι χρήστες μπορούν να επιτύχουν στόχους υγείας και ευεξίας, καθώς και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις για τη διαχείριση της διατροφής και προτεινόμενες δραστηριότητες, ακόμα και όταν είναι offline.

Σχεδιασμένο με υψηλό επίπεδο αντοχής, το Gear Sport μπορεί να ανταπεξέλθει σε να ευρύ φάσμα περιστάσεων. Είναι ιδανικό για κάθε περίπτωση, από το γυμναστήριο έως μία νυχτερινή έξοδο με φίλους. Το Gear Sport περιλαμβάνει τις βασικές λειτουργίες των Gear:

- Ελέγχει τις Samsung IoT συσκευές μέσω του Samsung Connect
- Λειτουργεί ως χειριστήριο, είτε πρόκειται για μία παρουσίαση PowerPoint ή για το Samsung Gear VR
- Χρησιμοποιείται για πληρωμές προϊόντων με μία κίνηση του καρπού μέσω του SamsungPay (NFC μόνο).

### Χαρακτηριστικά του Gear Fit2 Pro

Το νέο Samsung Gear Fit2 Pro διαθέτει την προεγκατεστημένη εφαρμογή παρακολούθησης Speedo On, η οποία τροφοδοτείται από τον εξειδικευμένο αλγόριθμο της Speedo για μέγιστη ακρίβεια και απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων στην πλατφόρμα Speedo On στο διαδίκτυο. Κατασκευασμένη για κολυμβητές που ενδιαφέρονται για τα δεδομένα της φυσικής τους κατάστασης, η διαδραστική πλατφόρμα παρακολούθησης κολύμβησης λειτουργεί ως πολύτιμος συνεργάτης κατά την προπόνηση. Προσφέρει ανάλυση της κολύμβησης του χρήστη και παρακολουθεί την πρόδό του σε σχέση με τους στόχους για τη φυσική κατάστασή του. Επιπλέον,

περιλαμβάνει πρόσθετα προπονητικά προγράμματα, και συμβουλές που δημιουργήθηκαν από ορισμένους από τους καλύτερους προπονητές και αθλητές του κόσμου, προσαρμοσμένες στις ανάγκες του. Η Speedo On δίνει, επίσης, μια κοινωνική διάσταση στο κολύμπι, επιτρέποντάς στο χρήστη να παρακολουθεί άλλους κολυμβητές, να συμμετέχει σε αγώνες και να μοιράζεται τα κατορθώματά του. Και στις δύο συσκευές, η εφαρμογή Speedo On επιτρέπει στους κολυμβητές να ολοκληρώνουν προκριματικούς αγώνες και να κρατούν το SWOLF σκορ τους (έναν τρόπο μέτρησης αποτελεσματικότητας της κολύμβησης) [48].

#### Ασύρματα ακουστικά καταγραφής αθλητικής δραστηριότητας

Η πρόοδος της Αθλητικής Βιομηχανίας στο κλάδο των wearables είχε ως αποτέλεσμα τη χρήση ασύρματων ακουστικών όπως τα ακουστικά IconX, κάνοντας την προπόνηση των αθλητών πιο ευχάριστη και πιο αποδοτική.

Τα ασύρματα ακουστικά IconX επιτρέπουν στους καταναλωτές να ακούν άνετα την αγαπημένη τους μουσική - κάνοντας την καθημερινή μετακίνηση πιο ευχάριστη ή την προπόνηση πιο αποδοτική. Μπορούν να απολαύσουν τη μουσική τόσο online όσο και offline, μεταφέροντας τραγούδια από ένα Samsung smartphone ή H/Y ή αποκτώντας πρόσβαση στα αγαπημένα τους κομμάτια μέσω σύνδεσης Bluetooth.

Τα Gear IconX καταγράφουν αυτόματα τις προπονήσεις τρεξίματος και διαθέτουν αυτόνομη λειτουργία Running Coach που μπορεί να ενεργοποιηθεί, απλά αγγίζοντας το ακουστικό, ώστε να ακούσουν ηχητικές ειδοποιήσεις ασκήσεων - σε πραγματικό χρόνο και χωρίς τη συσκευή τηλεφώνου. Με μπαταρία γρήγορης φόρτισης και βελτιωμένη διάρκεια ζωής με δυνατότητα μέχρι και πέντε ώρες streaming και επτά ώρες αυτόνομης μουσικής καθώς και με εσωτερική μνήμη μέχρι και 4GB, οι καταναλωτές μπορούν να απολαμβάνουν μια ολοκληρωμένη και αυτόνομη μουσική εμπειρία [49].

## 10. Συμπεράσματα

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία μας δόθηκε το ερέθισμα να μελετήσουμε τα wearables μέσα από την αναζήτηση βιοσημάτων στον ιδρώτα. Συνοψίζοντας, οι φορετές συσκευές έχουν τη δυνατότητα να διευκολύνουν την αλλαγή συμπεριφοράς τόσο στην υγεία όσο και στη φυσική κατάσταση, καθώς αυτές οι δύο έννοιες συνδέονται. Η επιτυχής χρήση και τα πιθανά οφέλη της φορετής τεχνολογίας που σχετίζονται με αυτές τις συσκευές εξαρτώνται περισσότερο από το σχεδιασμό των στρατηγικών δέσμευσης και της ατομικής ενθάρρυνσης παρά από τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας τους. Τελικά, οι στρατηγικές δέσμευσης, οι συνδυασμοί της ατομικής ενθάρρυνσης, του κοινωνικού ανταγωνισμού και της συνεργασίας, που συνδέονται με την ανθρώπινη συμπεριφορά, αποτελούν τα κύρια χαρακτηριστικά για την χρήση αυτών των συσκευών.

Όντας το δίκτυο των πραγμάτων (IoT) ενσωματωμένο στην ηλεκτρονική, τους αισθητήρες, τη συνδεσιμότητα δικτύου και το λογισμικό, θεωρείται ως μια υπολογιστική ιδέα που περιγράφει την ιδέα των φυσικών αντικειμένων να συνδέονται με το διαδίκτυο και να μπορούν να ταυτιστούν με άλλες συσκευές. Παράλληλα, δημιουργεί ευκαιρίες για την καλύτερη και ομαλή ενσωμάτωση μεταξύ των υπολογιστικών συστημάτων και του φυσικού κόσμου. Δεδομένου ότι οι λύσεις IoT επιτρέπουν τη συλλογή όλων των ειδών πληροφόρησης ανάλογα με τις απαιτήσεις εφαρμογής και με αυτόν τον τρόπο συμβάλλει στη δημιουργία καινοτόμων λύσεων και νέων ευκαιριών σε διάφορους τομείς, εκτός από τη μείωση των αναγκών σε ενέργεια και το λειτουργικό κόστος, οι υπηρεσίες IoT οδηγούν σε υπηρεσίες υψηλής ποιότητας τόσο με βελτιωμένη αποτελεσματικότητα όσο και με οικονομικά οφέλη. Ως εκ τούτου, είναι πολύ πιθανό ότι το IoT θα αποτελείται από δισεκατομμύρια αντικείμενα μέσα σε λίγα χρόνια [50].

Ωστόσο υπάρχουν συσκευές που φέρουν κάποιες βελτιστοποιήσεις ώστε να εξυπηρετούν περισσότερες ανάγκες. Παρακάτω αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες προτάσεις και βελτιστοποιήσεις για την τεχνολογία των wearables συσκευών.

- Wearable συσκευή για τη μέτρηση της χοληστερόλης

Από μελέτες που έχουν δημοσιευθεί παρατηρήσαμε ότι το ποσοστό των ανθρώπων που παρουσιάζουν χοληστερόλη, και τείνουν να κινδυνεύουν από διάφορα

νοσήματα ,είναι τεράστιο. Ήδη ο μισός ελληνικός πληθυσμός πάσχει από " κακή" LDL χοληστερόλη και το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού να βρίσκεται σε πλήρη άγνοια. Για το λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη δημιουργίας ειδικών συσκευών μέτρησης των επιπέδων της χοληστερόλης στο αίμα. Όπως υπάρχουν συσκευές που ανιχνεύουν τη συγκέντρωση της γλυκόζης τόσο στο αίμα όσο και στον ιδρώτα , εξίσου προτείνουμε τη δημιουργία συσκευών που να ανιχνεύουν τη συγκέντρωση της χοληστερόλης στο αίμα. Γνωρίζοντας ότι για ένα υγιές άτομο η τιμή αναφοράς για την ολική χοληστερόλη δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 160mg/dL, μπορούμε με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων και αισθητηρίων να υπολογίζουμε το ποσοστό της χοληστερόλης. Η συσκευή αυτή θα βοηθήσει όχι μόνο τους ανθρώπους που πάσχουν από προβλήματα παχυσαρκίας αλλά και ανθρώπους που πάσχουν από διάφορα κληρονομικά νοσήματα.

- Γυαλιά που ανιχνεύουν την πίεση των ματιών

Μιλώντας για wearable γυαλιά οι περισσότεροι σκεφτόμαστε τα γυαλιά της Google τα οποία συμβάλλουν κυρίως στην ψυχαγωγία του ανθρώπου. Σκοπός της διατριβής δεν είναι μόνο η μελέτη των ήδη υπαρχόντων wearables αλλά και οι προτάσεις για βελτιστοποίηση. Οι περισσότεροι άνθρωποι ανησυχούν για την αρτηριακή τους πίεση, λίγοι όμως είναι αυτοί που ελέγχουν την πίεση των ματιών.

Ο έλεγχος της οφθαλμικής πίεσης ωστόσο, είναι απαραίτητος καθώς αν ανέβει επικίνδυνα μπορεί να βλάψει την όραση. Τα μάτια περιέχουν ένα υγρό που παράγεται και ρέει συνεχώς μέσα και έξω από αυτά. Η διακίνηση αυτού του υγρού, που δεν αποτελεί μέρος των δακρύων, δημιουργεί μια πίεση στο εσωτερικό του ματιού. Αν για κάποιο λόγο παρεμποδίζεται η παροχέτευση του υδατοειδούς αυτού υγρού, τότε αυτό συσσωρεύεται μέσα στο μάτι και η πίεση των ματιών ανεβαίνει. Η πρόοδος της τεχνολογίας μπορεί να διορθώσει το πρόβλημα αυτό με τη δημιουργία ειδικών γυαλιών που θα ανιχνεύουν την πίεση των ματιών μέσω ειδικών αισθητηρίων (ενσωμάτωση ειδικής κάμερας) που θα υπολογίζουν το πάχος του κερατοειδούς, δεδομένου ότι τα όρια της οφθαλμικής πίεσης είναι 10mmHg εως 21mmHg. Όλα τα δεδομένα θα αποστέλλονται στο smartphone του χρήστη, έτσι ώστε να υπάρχει ένας πλήρης καταγραφικός έλεγχος ,προκειμένου ο θεράπων ιατρός του χρήστη να προβεί σε θεραπεία του ασθενούς αν κρίνει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα.

- Ακουστικό βίντεο-ωτοσκόπιο και καταγραφής ήχων (ακουόγραμμα)

Τα προβλήματα ακοής είναι πολύ συχνά. Μπορούν να εμφανιστούν σε οποιαδήποτε ηλικία αλλά με την αύξηση της ηλικίας παρουσιάζονται με μεγαλύτερη συχνότητα. Η ξαφνική απώλεια της ακοής είναι μία πάθηση στην οποία έχουμε, χωρίς ένα ευδιάκριτο αίτιο, μία μονόπλευρη νευροαισθητήρια βαρηκοΐα ή κώφωση. Ταυτόχρονα υπάρχουν βουητά (90%) ή ωτικό αίσθημα πίεσης (50%), καθώς και/ή υποκειμενική αίσθηση ιλίγγου (30%), όπως και/ή διπλοακουσία (25%). Από μελέτες που έχουν ολοκληρωθεί οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι αν η αιφνίδια απώλεια ακοής ανιχνευτεί σε πρώιμο στάδιο δηλαδή στα πρώτα δεκαπέντε λεπτά από τη στιγμή που εκδηλώθηκαν τα πρώτα συμπτώματα τότε ο ασθενής μπορεί να θεραπευτεί διαφορετικά η ασθένεια τον ακολουθεί σε όλη του την ζωή. Προτείνουμε τη δημιουργία ακουστικών τα οποία θα περιέχουν ενσωματωμένη κάμερα και ακουόγραμμα (δηλαδή θα γίνεται καταγραφή της έντασης των ήχων του χρήστη), έτσι ώστε οι ασθενείς που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές να μπορούν να αντιληφθούν το πρόβλημα εγκαίρως. Η χρήση της κάμερας θα λειτουργεί σαν ένα μικρό βίντεο-ωτοσκόπιο το οποίο θα καταγράφει και θα αποστέλλει στο smartphone του (χρήστη ή του ιατρού) το εσωτερικό του αυτιού. Αν για κάποιο λόγο παρατηρηθεί κάποια μόλυνση στο εσωτερικό του αυτιού, τότε ο γιατρός χορηγεί την κατάλληλη θεραπεία έτσι ώστε να αποτρέψει σοβαρές επιπλοκές.

Οι κορυφαίες φορητές συσκευές που βασίζονται σε πλατφόρμες IoT πρέπει να παρέχουν απλή, ισχυρή πρόσβαση εφαρμογών σε συσκευές IoT. Πολλές πλατφόρμες και δομές έχουν προταθεί από την επιστημονική κοινότητα και υπάρχουν ήδη εμπορικές συσκευές για μέτρηση βιομετρικών / ιατρικών παραμέτρων. Ωστόσο, υπάρχουν σοβαρές προκλήσεις με αυτόν τον τρόπο. Οι τέσσερις βασικές δυνατότητες που πρέπει να επιτρέψουν οι πλατφόρμες είναι οι εξής:

1. *Απλή και ασφαλής συνδεσιμότητα*: Μια καλή πλατφόρμα IoT αναμένεται να παρέχει εύκολη σύνδεση συσκευών και να εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης συσκευών σε τρία επίπεδα συλλογής δεδομένων: μετάδοση δεδομένων σε ένα διανομέα, μόνιμη αποθήκευση και παρατήρηση σε ιατρικό σταθμό. Αυτά τα βήματα πρέπει να εξασφαλιστούν. Επομένως, απαιτείται κρυπτογράφηση δεδομένων.

2. *Κατανάλωση ρεύματος*: Για να παρέχεται στον χρήστη η εύκολη διαχείριση της συσκευής και η μακροχρόνια παρακολούθηση χωρίς διακοπή, η απώλεια ισχύος

γίνεται όλο και πιο σημαντική. Αυτό συσχετίζεται αυστηρά με τον αριθμό των παραμέτρων που παρατηρούνται, τον αποτελεσματικό προγραμματισμό κώδικα, καθώς και με την καλή τήρηση δεδομένων, την κρυπτογράφηση και τη συμπίεση.

3. *Ευχρηστία*: Οι συσκευές που φοριούνται έχουν σχεδιαστεί για διάφορους τύπους βιοϊατρικής παρακολούθησης για να βοηθήσουν τους χρήστες να ζήσουν μία υγιή ζωή. Αυτό το σημείο είναι πιο σημαντικό όταν αυτές οι συσκευές πρόκειται να φορεθούν από ηλικιωμένους χρήστες. Ως εκ τούτου, τέτοιες συσκευές πρέπει να είναι εύκολο να φορεθούν, να μεταφερθούν και να είναι άνετες στον χρήστη. Αυτές οι απαιτήσεις πληρούνται με μια ελαφριά, μικρή και καλά δομημένη συσκευή. Μια φορητή συσκευή αναμένεται να είναι μικρή και ελαφριά και θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.

4. *Μειωμένος κίνδυνος στην απώλεια δεδομένων*: Όταν τα δεδομένα συλλέγονται από μικροελεγκτή και μεταδίδονται σε ένα smartphone ή στο cloud storage, υπάρχει πιθανότητα αποσύνδεσης και κατά συνέπεια απώλεια δεδομένων. Αυτό πρέπει να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο για την παροχή ασφαλούς παρακολούθησης της υγείας. Μπορεί να είναι δυνατή μέσω προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων (buffering) στον μικροελεγκτή που παρέχει μεγάλη μνήμη.

Είναι γεγονός ότι οι συγκεκριμένες προτάσεις ακούγονται σαν σενάρια επιστημονικής φαντασίας. Η πρόσφατη εξέλιξη της τεχνολογίας έχει αποδείξει ακριβώς το αντίθετο. Πιστεύουμε στην πρόοδο της τεχνολογίας και ευελπιστούμε ότι στον μέλλον οι προτάσεις αυτές θα είναι πραγματοποιήσιμες.

Από τη μελέτη της παραπάνω εργασίας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι χρήση των wearables τόσο στην Ιατρική όσο και στον Αθλητισμό παρέχουν επαρκή κάλυψη καθημερινών αναγκών του ανθρώπου, καθώς προσφέρουν λύσεις και εφαρμογές χωρίς την άμεση εποπτεία του ιατρού (όταν πρόκειται για προβλήματα ιατρικής φύσεως) ή του προπονητή (για περιπτώσεις που αφορούν την αθλητική δραστηριότητα των αθλητών). Ευελπιστούμε ότι στο μέλλον η εξέλιξη των wearables θα παρέχει ακόμα μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου με τη χρήση αξιόπιστων και ευέλικτων συσκευών [51].

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ:**

- [1] Aziah Ali, Rachel C. King, and Guang Zhong Yang. Semi-supervised Segmentation for Activity Recognition with Multiple Eigenspaces. In *Body Sensor Networks*, 2008. cited on pp. 107
- [2] Adrienne Andrew, Yaw Anokwa, Karl Koscher, Jonathan Lester, and Gaetano Borriello. Context to make you more aware. *IWSAWC 2007 - The 7th International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing*, 2007. cited on pp. 11
- [3] Jennifer S. Beaudin, Stephen S. Intille, Emmanuel Munguia Tapia, Randy Rockinson, and Margeret E. Morris. Context-Sensitive Microlearning of Foreign Language Vocabulary on a Mobile Device, November 2007. cited on pp. 13
- [4] AK Bourke, JV O'Brien, and GM Lyons. Evaluation of a thresholdbased tri-axial accelerometer fall detection algorithm. *Gait & Posture*, 26(2):194–199, 2007. cited on pp. 11
- [5] L. Buechley and M. Eisenberg. Fabric PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for e-textile craft. *Personal and Ubiquitous Computing*, pages 1–18, 2007. cited on pp. 4
- [6] B. Hartmann, L. Abdulla, M. Mittal, and S.R. Klemmer. Authoring sensor-based interactions by demonstration with direct manipulation and pattern recognition. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 145–154, 2007. cited on pp. 5
- [7] Holger Junker, Oliver Amft, Paul Lukowicz, and Gerhard Tröster. Gesture spotting with body-worn inertial sensors to detect user activities. *Pattern Recognition*, 41(6):2010–2024, June 2008. cited on pp. 4
- [8] K. Kunze, M. Barry, E.A. Heinz, P. Lukowicz, D. Majoe, and J. Gutknecht. Towards Recognizing Tai Chi—An Initial Experiment Using Wearable Sensors. In *4th International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC)*, April 2006. cited on pp. 15, 18
- [9] L. Liao, D. Fox, and H. Kautz. Extracting Places and Activities from GPS Traces Using Hierarchical Conditional Random Fields. *The International Journal of Robotics Research*, 26(1):119, 2007. cited on pp. 17, 19
- [10] P. Lukowicz, A. Timm-Giel, M. Lawo, and O. Herzog. Wearit@work: Toward real-world industrial wearable computing. *IEEE Pervasive Computing*, 6(4):8–13, Oct-Dec 2007. cited on pp. 11
- [11] R. Mayrhofer and Hans Gellersen. Shake well before use: Authentication based on accelerometer data. In *Pervasive*, 2007. cited on pp. 5

- [12] D. Minnen, T. Westeyn, D. Ashbrook, P. Presti, and T. Starner. Recognizing Soldier Activities in the Field. 4th International Workshop on Wearable and Bibliography 125 Implantable Body Sensor Networks (Bsn 2007): March 26-28, 2007 RWTH Aachen University, Germany, 2007. cited on pp. 13, 19
- [13] Thomas Stiefmeier, Daniel Roggen, and Gerhard Tröster. Gestures are Strings: Efficient Online Gesture Spotting and Classification using String Matching. In *BodyNets*, June 2007. cited on pp. 15
- [14] M. Tentori and J. Favela. Activity-Aware Computing for Healthcare. *IEEE PERVASIVE COMPUTING*, pages 51–57, 2008. cited on pp. 12
- [15] S. Wang, W. Pentney, A.M. Popescu, T. Choudhury, and M. Philipose. Common Sense Based Joint Training of Human Activity Recognizers. In *Proc. IJCAI*, 2007. cited on pp. 10, 14, 15, 19
- [16] Christopher R. Wren, Yuri A. Ivanov, Ishwinder Kaur, Darren Leigh, and Jonathan Westhues. Socialmotion: Measuring the hidden social life of a building. In *LoCA*. Springer, 2007. cited on pp. 4
- [17] H. Zhang and B. Hartmann. Building upon everyday play. In *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*. ACM Press New York, NY, USA, 2007. cited on pp. 12
- [18] Vinkers, C. H., Penning, R., Hellhammer, J., Verster, J. C., Klaessens, J. H., Olivier, B., & Kalkman, C. J. (2013). The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans. *Stress*, 16(5), 520-530.
- [19] Lee, B. G., & Chung, W. Y. (2017). Wearable Glove-Type Driver Stress Detection Using a Motion Sensor. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(7), 1835-1844.
- [20] Gengchen Liu MA, Bunyamin Sahin, Samuel E. Snelgrove, Jeffrey Edwards, Axel Mellinger, and Tolga Kaya. Real-time sweat analysis via alternating current conductivity of artificial and human sweat. *Applied Physics Letters*. 2015;106(13):133702.
- [21] Skolnik, H.; Chernus, A., Nutrient Timing for Peak Performance. *Human Kinetics*: 2010.
- [22] Hayden, G.; Milne, H.; Patterson, M.; Nimmo, M., The reproducibility of closedpouch sweat collection and thermoregulatory responses to exercise–heat stress. *European Journal of Applied Physiology* 2004, 91, 748-751.
- [23] Brisson, G.; Boisvert, P.; Péronnet, F.; Perrault, H.; Boisvert, D.; Lafond, J., A simple and disposable sweat collector. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1991, 63, 269-272.



- [24] Wescor, <http://www.wescor.com/biomedical/cysticfibrosis/macroduct.html>. June 12th 2013.
- [25] Shirreffs, M. S.; Maughan, J. R., Whole body sweat collection in humans : an improved method with preliminary data on electrolyte content. American Physiological Society: Bethesda, MD, ETATS-UNIS, 1997; Vol. 82.
- [26] PREMIER <http://www.premierintegrity.com/SweatTesting.aspx>.
- [27] Gubala, V.; Harris, L.; Ricco, A.; Tan, M.; Williams, D., Point of care diagnostics: status and future. *Analytical Chemistry* 2012, 84, 487-1002. 68. Whitesides, G., Solving problems. *Lab on a Chip* 2010, 10, 2317-2318.
- [28] C. Kipps, S. Sharma, and D. T. Pedoe, "The incidence of exercise-associated hyponatraemia in the London marathon," *British Journal of Sports Medicine*, vol. 45, no. 1, pp. 14–19, Jan. 2011
- [29] L. Yin et al., "Dissolvable Metals for Transient Electronics," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 24, no. 5, pp. 645–658, Feb. 2014.
- [30] D. J. Bishop and O. Girard, "Determinants of team-sport performance: implications for altitude training by team-sport athletes," *Br J Sports Med*, vol. 47, no. Suppl 1, pp. i17–i21, Dec. 2013.
- [31] L. Zhang et al., "Highly selective and sensitive sensor based on an organic electrochemical transistor for the detection of ascorbic acid," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 100, pp. 235–241, Feb. 2018
- [32] A. J. Bandodkar et al., "Epidermal tattoo potentiometric sodium sensors with wireless signal transduction for continuous non-invasive sweat monitoring," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 54, pp. 603–609, Apr. 2014.
- [33] Olguín, D. O., & Pentland, A. S. (2008). Social sensors for automatic data collection. *AMCIS 2008 Proceedings*, 171
- [34] Pandian, P. S., Mohanavelu, K., Safeer, K. P., Kotresh, T. M., Shakunthala, D. T., Gopal, P., & Padaki, V. C. (2008). Smart Vest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system. *Medical engineering and physics*, 30(4), 466-477.
- [35] Panichella, S., Di Sorbo, A., Guzman, E., Visaggio, C. A., Canfora, G., & Gall, H. C. (2015, September). How can i improve my app? Classifying user reviews for software maintenance and evolution. In *Software maintenance and evolution (ICSME), 2015 IEEE international conference on* (pp. 281-290). IEEE.
- [36] Parate, A.; Ganesan, D. Detecting Eating and Smoking Behaviors Using Smartwatches. In *Mobile Health*; Springer: Cham, Switzerland, 2017; pp. 175–201, ISBN 978-3-319-51393-5.

- [37] Park, S., & Jayaraman, S. (2003). Enhancing the quality of life through wearable technology. *IEEE Engineering in medicine and biology magazine*, 22(3), 41-48.
- [38] Patel, S.; Park, H.; Bonato, P.; Chan, L.; Rodgers, M. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *J. NeuroEng. Rehabil.* 2012, 9, 21.
- [39] Percival, J., & Hanson, J. (2006). Big brother or brave new world? Telecare and its implications for older people's independence and social inclusion. *Critical Social Policy*, 26(4), 888-909.
- [40] Rhoads, F. A., & Grandner, J. (1990). Assessment of an aural infrared sensor for body temperature measurement in children. *Clinical pediatrics*, 29(2), 112-115.
- [41] Sekine M, Tamura T, Togawa T, Fukui Y: Classification of waist-acceleration signals in a continuous walking record. *Med Eng Phys.* 2000, 22: 285-291. 10.1016/S1350-4533(00)00041-2.
- [42] Simone, L. K., Sundarajan, N., Luo, X., Jia, Y., & Kamper, D. G. (2007). A low cost instrumented glove for extended monitoring and functional hand assessment. *Journal of neuroscience methods*, 160(2), 335-348.
- [43] Steele, B. G., Belza, B., Cain, K., & Warmis, C. (2003). Bodies in motion: monitoring daily activity and exercise with motion sensors in people with chronic pulmonary disease. *Journal of rehabilitation research and development*, 40(5), 45.
- [44] Tehrani, K., & Michael, A. (2014). Wearable technology and wearable devices: Everything you need to know. *Wearable Devices Magazine*.
- [45] Wagenaar, R. C., Sapir, I., Zhang, Y., Markovic, S., Vaina, L. M., & Little, T. D. (2011, August). Continuous monitoring of functional activities using wearable, wireless gyroscope and accelerometer technology. In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 4844-4847). IEEE.
- [46] Wang, B., Kim, S., & Malthouse, E. C. (2016). Branded Apps and Mobile Platforms as New Tools for Advertising. In *The New Advertising: Branding, Content, and Consumer Relationships in the Data-driven Social Media Era*. ABC-CLIO Santa Barbara, CA.
- [47] Wei, J. (2014). How Wearables Intersect with the Cloud and the Internet of Things: Considerations for the developers of wearables. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 3(3), 53-56. Διαθέσιμο στο: <http://lifesciences.embs.org/wp-content/uploads/sites/53/2014/12/dec-14-wearables.pdf> [Πρόσβαση 24/03/2018]
- [48] Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221-224.

- [49] Wu, Y. C., Chen, P. F., Hu, Z. H., Chang, C. H., Lee, G. C., & Yu, W. C. (2009, December). A mobile health monitoring system using RFID ring-type pulse sensor. In Dependable, Autonomic and Secure Computing, 2009. DASC'09. Eighth IEEE International Conference on (pp. 317-322). IEEE.
- [50] Yang C-C, Hsu Y-L: A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors*. 2010, 10 (8): 7772-7788. 10.3390/s100807772.
- [51] Yang C-C, Hsu Y-L: Development of a wearable motion detector for telemonitoring and real-time identification of physical activity. *Telemed J E Health*. 2009, 15: 62-72. 10.1089/tmj.2008.0060.
- [52] *Mind Cure*. Retrieved from Full Health Secrets:  
<https://www.fullhealthsecrets.com/remedies/laws-of-health/mind-cure/>
- [53] Piwek, L., Ellis, D.A., Andrews, S., & Joinson, A. The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers. *PLoS medicine*, 2016.
- [54] Let them see you sweat: What new wearable sensors can reveal from perspiration. Retrieved from berkeley.edu:  
<https://news.berkeley.edu/2016/01/27/wearable-sweat-sensors/>, January 7th 2016
- [55] The Future of Wearable Technology: Smaller, Cheaper, Faster, and Truly Personal Computing. Retrieved from cisco: <https://blogs.cisco.com/digital/the-future-of-wearable-technology-smaller-cheaper-faster-and-truly-personal-computing>, October 24th 2013
- [56] Rajan, Krishna Prasad & Thomas, Selvin & Gopanna, Aravinthan & Al-Ghamdi, Ahmed & CHAVALI, Murthy. Polyblends and composites of poly (lactic acid) (PLA): a review on the state of the art. 2018