



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών  
Μηχανικών

Διπλωματική Εργασία

## Βιοϊατρικές συσκευές: Η χρήση των Ηλεκτρονικών στην Ιατρική Διάγνωση



Σπουδαστής: Μάρταλης Μιχαήλ, Α.Μ.: 42848

Επιβλέπων Καθηγητής: Πάχος Παύλος

# Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο Π.Πάχο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα πτυχιακή εργασία και για τη συνεργασία του. Επίσης, ευχαριστώ τον πατέρα μου, Λεωνίδα Μάρταλη για τις συμβουλές και για τη στήριξη που μου παρείχε.

# Περίληψη

---

Με τη συνεχή εξέλιξη και πρόοδο των θετικών επιστημών, η επιστήμη της βιοϊατρικής τεχνολογίας βρίσκεται στο απόγειό της, καθορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η διάγνωση αλλά και η θεραπεία ποικίλων ασθενειών. Η επιστήμη αυτή έχει άμεσα συνδεθεί με τη βελτίωση της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής καθώς και με την αύξηση του προσδόκιμύ της.

Ο άνθρωπος λοιπόν, στην προσπάθειά του να πραγματοποιήσει τη βέλτιστη διάγνωση ούτως ώστε να αντιμετωπίσει διάφορα προβλήματα, επιστράτευσε τον κλάδο της ηλεκτρονικής, κατασκευάζοντας μηχανήματα για να ενισχύσει το έργο του. Έτσι γεννήθηκε το επιστημονικό πεδίο της ηλεκτρικής/ηλεκτρονικής διάγνωσης. Τα ιατρικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στη διάγνωση, συνεχίζουν να εξελίσσονται μέρα με τη μέρα, παρέχοντας νέες δυνατότητες στον επιστήμονα ιατρό ενώ παράλληλα η λειτουργία τους εξακολουθεί να βασίζεται στις αρχές και στο γνωστικό πεδίο της ηλεκτρονικής και της ηλεκτροτεχνίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει τις βασικές ηλεκτρικές διατάξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται στην ιατρική και τις εφαρμογές τους.

Για την καλύτερη δυνατή ανάλυση του θέματος, η συγκεκριμένη εργασία χωρίζεται σε 5 επιμέρους κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην επιστήμη της Ιατρικής και πραγματοποιείται μια ανάλυση των επιστημονικών πεδίων της βιοϊατρικής τεχνολογίας και της βιοϊατρικής μηχανικής.

Το δεύτερο και το τρίτο κεφάλαιο είναι άμεσα συνδεδεμένα. Εδώ, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας και τα κύρια ηλεκτρονικά κυκλώματα που περιλαμβάνουν σχεδόν όλα τα διαγνωστικά μηχανήματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια βασικά διαγνωστικά μηχανήματα και αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι προοπτικές εξελίξεις της ιατρικής απεικόνισης καθώς ορισμένες νέες τεχνολογίες που πρόκειται να έχουν άμεση εφαρμογή στη διάγνωση στα επόμενα χρόνια.

# Abstract

---

With the constant evolution and advancement of science, the science of biomedical technology is at its cutting edge, defining the way in which diagnosis and treatment of various diseases is done. This science has a direct bearing on improving the quality of human life as well as increasing its perspective.

So, in an effort to carry out the optimal diagnosis to deal with various problems, man used the electronics industry to manufacture machines to enhance his work. Thus the scientific field of electrical / electronic diagnosis was born. Medical devices used in diagnostics continue to evolve day by day, offering new possibilities to the medical practitioner while at the same time their function is still based on the principles and applications of electrical and electronic engineering.

This diploma thesis presents the basic electrical devices used in medicine and their applications.

For the best possible analysis of the subject, this work is divided into 5 sub-chapters.

The first chapter introduces the science of medicine and analyzes the scientific fields of biomedical technology and biomedical engineering.

The second and third chapters are directly linked. Here are the basic operating principles and the major electronic circuits that include almost all diagnostic machines.

The fourth chapter introduces some basic diagnostic devices and analyzes how they work.

The fifth and final chapter presents prospective advances in medical imaging as well as some new technologies that will be directly applied to diagnosis in the coming years.

# Πίνακας Περιεχομένων

---

Ευχαριστίες .....	1
Περίληψη .....	2
Abstract .....	3
Πίνακας Περιεχομένων .....	4

## **1<sup>η</sup> Ενότητα – Εισαγωγή στην Βιοϊατρική Τεχνολογία**

1.1. Η ιστορία της ιατρικής – από τους ιατρούς του Φαραώ στη Γενετική Μηχανική .....	8
1.2. Η Ιατρική σήμερα .....	10
1.3. Η Βιοϊατρική Τεχνολογία .....	11
1.4. Η Βιοϊατρική Μηχανική .....	13
1.5. Αρχή λειτουργίας των Διαγνωστικών Μηχανημάτων .....	14

## **2<sup>η</sup> Ενότητα – Βασικοί Μετατροπείς και Αρχές Λειτουργίας**

2.1. Διαστασιολόγηση Οργάνων.....	16
2.1.1. Μετατροπείς Μεταβλητών Αντιστάσεων .....	17
2.1.2. Γέφυρες Μέτρησης .....	17
2.1.3. Μετατροπείς Επαγωγής .....	18
2.1.4. Μετατροπείς Χωρητικότητας .....	19
2.1.5. Πιεζοηλεκτρικοί Μετατροπείς .....	20
2.2. Θερμομετρία .....	21
2.2.1. Θερμοζεύγη .....	21
2.2.2. Θερμίστορες .....	23
2.3. Ακτινοβολία .....	25
2.3.1. Θερμομετρία Ακτινοβολίας .....	25
2.3.2. Ανιχνευτές Ραδιενέργειας .....	27

2.4. Λοιποί Ανιχνευτές στη Βιοϊατρική .....	28
---	----

### **3<sup>η</sup> Ενότητα – Ενισχυτές και Επεξεργασία Σημάτων**

3.1. Μοντέλο Ανοιχτού Βρόγχου .....	31
3.2. Ο Τελεστικός Ενισχυτής σε κυκλώματα Κλειστού Βρόγχου .....	32
3.2.1. Ο Αναστρέφων Ενισχυτής .....	33
3.2.2. Ο Αθροιστής .....	34
3.2.3. Μη αναστρέφων Ενισχυτής .....	35
3.2.4. Ακόλουθος Τάσης .....	36
3.3. Ο Διαφορικός Ενισχυτής .....	36
3.4. Τελεστικοί Ενισχυτές με μη ημιτονοειδής Εισόδους .....	37
3.4.1. Ο Ολοκληρωτής .....	38
3.4.2. Ο Διαφοριστής .....	38
3.5. Επεξεργασία Σήματος .....	39

### **4<sup>η</sup> Ενότητα – Διαγνωστικά Μηχανήματα**

4.1. Ο Ηλεκτροκαρδιογράφος .....	43
4.2. Πυρηνική Ιατρική .....	46
4.3. Υπερηχογράφημα .....	49
4.4. Αξονική Τομογραφία .....	55

### **5<sup>η</sup> Ενότητα – Προοπτικές εξέλιξης της Ιατρικής διάγνωσης στο μέλλον**

5.1. Καταπόσιμες Συσκευές Διάγνωσης .....	65
5.2. Ταχεία παραγωγή σκελετικών πρωτοτύπων για ενίσχυση της διάγνωσης στην ορθοπεδική χειρουργική και στην τραυματολογία .....	68
5.3. Νανοτεχνολογία και Ιατρικές συσκευές Διάγνωσης .....	70
5.4. Διαγνωστική Συσκευή Shunt-Check .....	74

5.5. Μελλοντικές διαγνωστικές συσκευές υπό εξέλιξη .....	78
5.5.1. Ανιχνευτής Μελανώματος MelaFind .....	78
5.5.2. Ηλεκτρονική Ασπιρίνη .....	80
5.5.3. Μετρητής διαβήτη χωρίς βελόνα .....	81
5.5.4. Ρομποτικά Check-Up .....	83
5.5.5. Πένα ανίχνευσης Καρκίνου .....	84
5.5.6. Philips Lumify – Φορητός υπερηχογράφος .....	85
5.5.7. Ψηφιακά Τατουάζ .....	87
5.5.8. Υπερυπολογιστής Clara – Nvidia .....	92
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>94</b>

# 1<sup>η</sup> Ενότητα – Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία

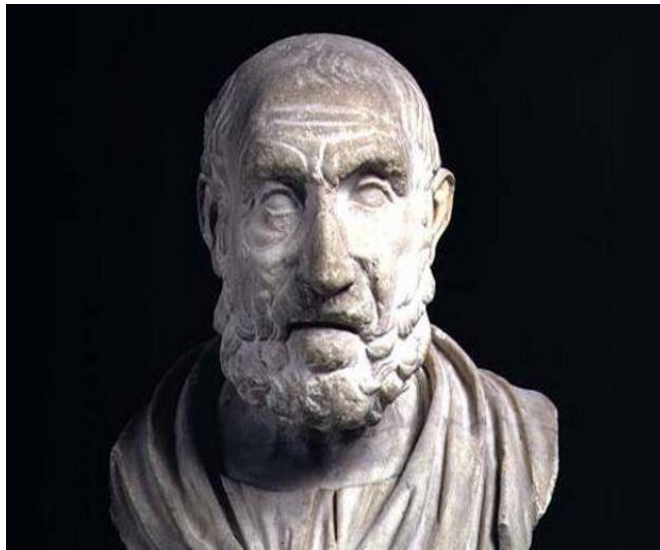


## 1.1) Η ιστορία της Ιατρικής – Από τους Ιατρούς του Φαραώ στη Γενετική Μηχανική

---

Στην αρχαιότητα, οι άνθρωποι απέδιδαν τις ασθένειες στους θεούς. Θεωρούσαν πως ήταν ένα είδος τιμωρίας λόγω ιδιοτροπίας ή προσβολής των θεών. Γι' αυτό το λόγο και η θεραπευτική διαδικασία εντασσόταν στο αντικείμενο της μαγείας. Παρότι όμως το ουσιαστικότερο μέρος της θεραπευτικής διαδικασίας το συνιστούσε η μαγεία, οι πρωτόγονοι άνθρωποι χρησιμοποιώντας τα φυσικά τους ένστικτα και βασισμένοι σε εμπειρίες, ανέπτυξαν μια πρωτόγονη επιστήμη βασισμένη σε αυτές τις παραμέτρους, τη λεγόμενη Ιατρική. Οι πρώτοι γνωστοί σε εμάς, Ιατροί, βρίσκονταν στην αρχαία Αίγυπτο, την Ελλάδα καθώς και στη Ρώμη.

Ο αρχαιότερος εκ αυτών ήταν ο Αιγύπτιος Ιμχοτέκ, οποίος έδωσε το έναυσμα για τη χρήση της απλής χειρουργικής αντί των μαγικών φίλτρων και ψαλμωδιών.



*Ο Ιπποκράτης*

Ωστόσο, ο πρωτοπόρος και ο Πατέρας της επιστήμης της Ιατρικής, θεωρείται ο Ιπποκράτης. Γεννηθείς το 460 π.Χ., μελέτησε την Ιατρική στην Αίγυπτο και επέστρεψε στην Ελλάδα για να ιδρύσει ένα σχολείο Ιατρικής στην Κω. Αντί να αποδίδει τις ασθένειες στους θεούς, δίδαξε πως αυτές δεν είναι παρά φυσικά φαινόμενα τα οποία εξελίσσονται με λογικά βήματα και πως τα συμπτώματα που συνοδεύονται από αυτές δεν είναι παρά οι αντιδράσεις του σώματος στις ασθένειες. Επίσης, πίστευε πως η υγεία

και η θεραπεία ήταν δικαίωμα όλων, ανεξαρτήτως φύλλου, ηλικίας, εθνικότητας και κοινωνικής διαστρωμάτωσης. Για το λόγο αυτό συνέταξε και τον "Λόγο του Ιπποκράτη" ο οποίος αναφέρεται στην ηθική εξάσκηση της Ιατρικής και λαμβάνεται από πολλούς, νέους, Ιατρούς μέχρι και σήμερα.

Με το τέλος του χρυσού αιώνα της Ελλάδας, ήταν η σειρά της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας να ασχοληθεί με αυτή. Αν και οι Ρωμαίοι δεν ανέπτυξαν την κλινική ιατρική (θεραπεία μεμονωμένων ασθενών) αλλά εστίασαν στη δημόσια υγεία, κατασκευάζοντας υδραγωγεία

ούτως ώστε να υπάρχει καθαρό νερό για όλους, υπονόμους για την απομάκρυνση των λυμάτων και δημόσια λουτρά για την διατήρηση της προσωπικής υγιεινής. Ο ιατρός που ξεχώρισε εκείνη την περίοδο, ήταν ο Γαληνός, ο δεύτερος σπουδαιότερος Έλληνας ιατρός μετά τον Ιπποκράτη και ο τελευταίος χρονικά από όλους τους σημαντικούς ιατρούς του ελληνορωμαϊκού κόσμου. Ήταν ο πρώτος ο οποίος ασχολήθηκε με την ανατομία του ανθρωπίνου σώματος.

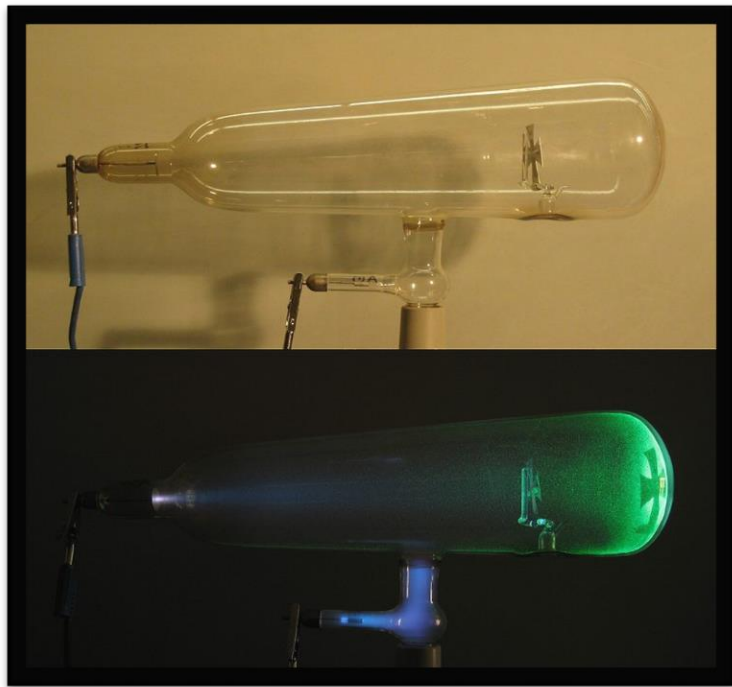
Για σχεδόν μια χιλιετία, όλοι οι γιατροί ανά τον κόσμο βασιζόνταν στις μεθόδους του Ιπποκράτη και του Γαληνού, ακόμα και κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα. Κατά την περίοδο αυτή όλες οι θετικές επιστήμες, συμπεριλαμβανομένης και της ιατρικής, έπεσαν σε τέλμα. Οι περιορισμοί που είχε θέσει η εκκλησία ως προς την εξάσκηση της ιατρικής δεν επέτρεπαν την πρόοδο και την εύρεση νέας γνώσης. Το λειτούργημα του ιατρού ασκούσαν πλέον από μοναχούς (μοναστηριακή ιατρική) αλλά και από κουρείς, οι οποίοι μάλιστα ήταν και οι πρώτοι που άρχισαν να εφαρμόζουν ευρέως την χειρουργική. Η πρόοδος στον τομέα αυτό, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον Γάλλο Αμβρόσιο Παρέ, ο οποίος θεωρείται ο πατέρας της σύγχρονης χειρουργικής. Ξεκινώντας ως κουρέας σε νοσοκομείο του Παρισιού, απέκτησε μεγάλη φήμη ως στρατιωτικός ιατρός όταν έφερε την επανάσταση στην αντιμετώπιση των πολεμικών τραυμάτων, αντικαθιστώντας τη μέχρι τότε χρήση καυτού λαδιού με την εφαρμογή απλού καθαρισμού και περιέδεσης. Υπήρξε επίσης και εμπνευστής και σχεδιαστής χειρουργικών εργαλείων καθώς και μηχανικών πρόσθετων μελών για την αντικατάσταση των ακρωτηριασμένων.

Η αναγέννηση και η μεταρρύθμιση κατά τη διάρκεια του 15<sup>ου</sup> αλλά και του 16<sup>ου</sup> αιώνα συντέλεσαν στην κατάργηση των περιορισμών που είχε θέσει η εκκλησία όσον αφορά τα νοσοκομεία και την άσκηση της ιατρικής. Δημιουργήθηκε το ιδανικό περιβάλλον για τη μελέτη φυσικών φαινομένων και για την προαγωγή της ιατρικής γνώσης. Κατά την περίοδο αυτή μελετήθηκαν εκτεταμένα οι μέθοδοι του Ιπποκράτη και μπήκαν οι βάσεις της λεγόμενης ποσοτικής ιατρικής αξιολόγησης. (ιατρικές μετρήσεις).

Στην Αγγλία, ο Ερρίκος ο 8<sup>ος</sup> αποτέλεσε ένθερμο υποστηρικτή του ιατρικού επαγγέλματος. Υποστήριξε τη δημιουργία του College of Physicians, του αρχαιότερου, αμιγώς ιατρικού, ιδρύματος της Ευρώπης.

Από την ανακάλυψη του εμβολιασμού στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η πρώτη σύνδεση της ιατρικής με κάποια άλλη θετική επιστήμη έγινε στα μέσα του ίδιου αιώνα. Η επιστήμη αυτή ήταν η χημεία και ο υπαίτιος αυτής της σύνδεσης ήταν ο Γάλλος Λουί Παστέρ. Ο Παστέρ έκανε την σημαντικότερη, όπως λέγεται, ανακάλυψη στην ιστορία της ιατρικής, το ότι οι ασθένειες μεταφέρονται από τον ένα ζωντανό οργανισμό στον άλλο μέσω πολύ μικρών έμβιων οργανισμών, των μικροβίων. Πάνω σε αυτή την παρατήρηση βασίστηκε ο Γερμανός Ρόμπερτ Κοχ, ο θεμελιωτής της μικροβιολογίας και της βακτηριολογίας. Ασχολήθηκε συστηματικά με τις λοιμώδεις ασθένειες και οι μελέτες του άνοιξαν το δρόμο για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των επιδημιών.

Με την έξαρση του ηλεκτρισμού και τη θεμελίωσή του ως κύρια πηγή ενέργειας και τροφοδοσίας, πολλοί ήταν εκείνοι που πειραματίστηκαν με αυτόν. Ένας από αυτούς ήταν ο Βρετανός Γουίλιαμ Κρούκς, ο οποίος εφηύρε τον «Σωλήνα του Κρούκς». Ο Κρούκς μελέτησε



Ο Σωλήνας του Κρούκς

την ηλεκτρική αγωγιμότητα μέσα σε ένα κλειστό γυάλινο σωλήνα με πολύ χαμηλή πίεση, στα όρια δηλαδή του κενού. Παρατήρησε λοιπόν το σχηματισμό ενός παράξενου φθορίζοντος φωτός στο απέναντι από την κάθοδο τοίχωμα, το οποίο πρόδιδε την παρουσία μιας αόρατης δέσμης εντός του σωλήνα. Η δέσμη έδειχνε να κατευθύνεται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) προς το απέναντι τοίχωμα, σε ευθύγραμμη κατεύθυνση. Αυτή η δέσμη είναι η λεγόμενη καθοδική ακτίνα, πάνω στην οποία βασίστηκαν πολύ αργότερα οι τηλεοράσεις (καθοδικού σωλήνα) και οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Επιπροσθέτως, πάνω στην έρευνα του Κρούκς βασίστηκε και ο Αμερικανός Τόμας

Έντισον για να φτιάξει γυάλινους γλόμπους για τις ηλεκτρικές λάμπες που είχε εφεύρει.

Χάρη λοιπόν στην έρευνα του Κρούκς, ανάμεσα στις πολλές επιστήμες που επωφελήθηκαν από αυτή είναι και η Ιατρική. Μια εκ των σημαντικότερων ανακαλύψεων στην ιστορία της, είναι αυτή των ακτινών Χ, η οποία πραγματοποιήθηκε από τον Γερμανό φυσικό Βίλχελμ Ρέντγκεν στα πλαίσια πειραματισμών πάνω στον σωλήνα του Κρούκς. Απέδειξε ότι οι ακτίνες Χ διαδίδονται σε ευθεία γραμμή και δεν είναι δυνατό να διαθλαστούν ή να ανακλαστούν καθώς και το ότι δεν επηρεάζονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως για την απεικόνιση των εσωτερικών οργάνων ή άλλων μελών του ανθρώπινου σώματος με σκοπό τη διάγνωση και θεραπεία ποικίλων ασθενειών.

## 1.2.) Η Ιατρική Σήμερα

---

Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ιδίως από τα μέσα αυτού και μετά, η Ιατρική εξελίχθηκε ραγδαία και εξερεύνησε πεδία με τα οποία κανένας δεν είχε ασχοληθεί στο παρελθόν, όπως για παράδειγμα η μεταμόσχευση οργάνων και η κατασκευή τεχνητών οργάνων. Χάρη στα νέα αυτά ευρήματα και στις νέες μεθόδους θεραπείας και διάγνωσης, η Ιατρική πλέον είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου.

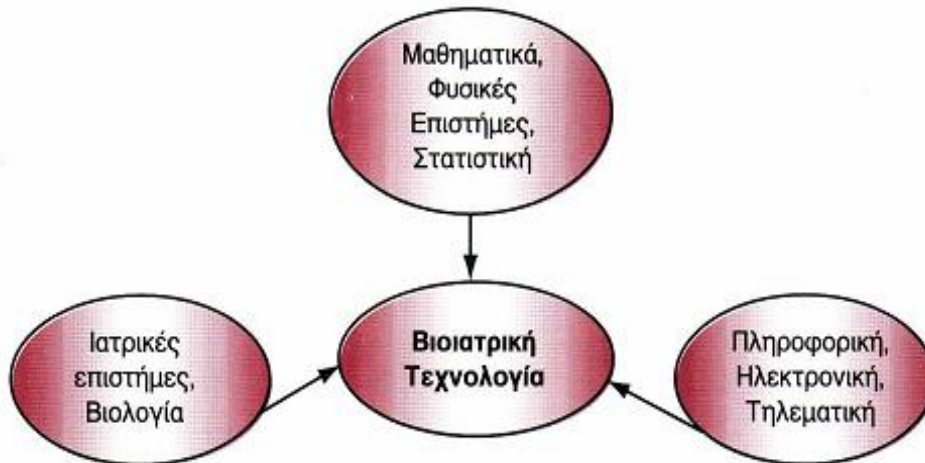
Φυσικά, όλη αυτή η ανάπτυξη και οι καινοτομίες δε θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν χωρίς τη συνδρομή της τεχνολογίας και πιο συγκεκριμένα της ηλεκτρονικής, της ηλεκτρολογίας και της μηχανολογίας. Σχεδόν όλες οι τεχνικές και οι διαδικασίες διάγνωσης και θεραπείας δε θα ήταν εφικτό να πραγματοποιηθούν χωρίς τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών και μηχανημάτων, τις λεγόμενες βιοϊατρικές συσκευές.

Η λειτουργία αυτών των βιοϊατρικών συσκευών αποτελείται από συνήθεις ηλεκτρονικές και ηλεκτρολογικές διατάξεις και βασίζεται στις αρχές λειτουργίας της ηλεκτρολογίας και της μηχανολογίας. Στην προσπάθεια του ανθρώπου για την αναζήτηση νέων τεχνολογιών και διατάξεων οι οποίες θα βελτιώσουν τις συνθήκες διάγνωσης και θεραπείας διάφορων ασθενειών, θεσπίστηκε ένας νέος κλάδος των θετικών επιστημών, η λεγόμενη Βιοϊατρική Τεχνολογία.

## 1.3.) Βιοϊατρική Τεχνολογία

---

Η βιοϊατρική τεχνολογία είναι μια επιστήμη με ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Αν θα θέλαμε να δώσουμε έναν ορισμό της, τότε θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι η επιστήμη η οποία συνδυάζει τα γνωστικά πεδία θετικών επιστημών (της βιολογίας, της χημείας, της φυσικής και των μαθηματικών, της πληροφορικής) με τις μεθοδολογίες ανάλυσης και σύνθεσης του μηχανικού, με στόχο την επίλυση προβλημάτων που αφορούν βιολογικά συστήματα.



*Η Βιοϊατρική Τεχνολογία ως σύνθεση επιστημονικών πεδίων*

Σκοπός της βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι να συνδράμει στην προσπάθεια του ανθρώπου να κατανοήσει ακόμα καλύτερα τις αρχές λειτουργίας των βιολογικών συστημάτων και να αναπτύξει νέες ή να βελτιώσει ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες (βασισμένες στη βιολογία και τη μηχανική) ούτως ώστε να καλύψει ένα ευρύ φάσμα αναγκών που υπάρχουν στις σύγχρονες κοινωνίες. Οι ανάγκες αυτές μπορεί να αφορούν τους τομείς της διάγνωσης, πρόληψης και θεραπείας διάφορων ασθενειών, την ανάπτυξη νέων υλικών, συσκευών και διαδικασιών.

Η συνδρομή του μηχανικού στην επίλυση και αντιμετώπιση βιολογικών προβλημάτων έγκειται στη δυνατότητα αυτού να απομακρύνεται από την πραγματική φύση του προβλήματος και να το αντιμετωπίζει εφαρμόζοντας μεθοδολογίες των μαθηματικών και της φυσικής. Είναι γεγονός πως οι γνώσεις του ανθρώπου για τα φυσικά φαινόμενα καθώς και η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων για την επεξήγηση αυτών βρίσκονται σε πολύ υψηλό επίπεδο. Αντίθετα, η ικανότητα αυτού να εξηγήσει και να μοντελοποιήσει φαινόμενα που αφορούν βιολογικά συστήματα και έμβιους οργανισμούς, θα μπορούσαμε να πούμε πως βρίσκεται σε πρωτόγονο, ακόμα, επίπεδο. Έτσι, η εφαρμογή των γνώσεων και του τρόπου σκέψης ενός μηχανικού στα προβλήματα αυτά, μπορεί να επιφέρει ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και διεύρυνση των γνώσεων των ανθρώπων, πάνω σε ιατρικές και βιολογικές εφαρμογές.

Αν επιχειρούσαμε να απλουστεύσουμε την παρουσίαση των επιστημονικών πεδίων που περικλείονται μέσα στην έννοια της Βιοϊατρικής τεχνολογίας, θα διακρίναμε δυο κλάδους:

- Την Βιοϊατρική Μηχανική (Biomedical Engineering)
- Την Βιολογική Μηχανική (Biological Engineering)

Η διαφοροποίηση ανάμεσα στους δυο αυτούς κλάδους δεν είναι ξεκάθαρη και συχνά αλληλοκαλύπτονται. Γενικά, η βιοϊατρική μηχανική έχει ως επίκεντρο την ιατρική και εφαρμόζει γνώσεις από τη βιολογία και από άλλες θετικές επιστήμες (χημεία, ηλεκτρολογία,

ηλεκτρονική, μηχανολογία) με στόχο την επίλυση ιατρικών προβλημάτων. Από την άλλη πλευρά η βιολογική μηχανική εστιάζει σε προβλήματα και ερωτήματα που προκύπτουν από την επιστήμη της Βιολογίας και αποσκοπεί στην εύρεση νέας γνώσης, είτε αυτή βρίσκει εφαρμογή στην ιατρική, είτε όχι.

Μπορούμε πλέον να δούμε πως κανένας από τους δυο κλάδους δεν εμπεριέχει πλήρως τον άλλο, εφόσον στην βιοϊατρική μηχανική περιλαμβάνονται και μη βιολογικές μέθοδοι που αναπτύσσονται για ιατρικούς σκοπούς σε αντίθεση με τη βιολογική μηχανική, όπου περιλαμβάνονται όλες οι βιολογικές μέθοδοι, ανεξαρτήτως με το εάν βρίσκουν εφαρμογή στην ιατρική.

Κάθε κλάδος από αυτούς τους δυο, υποδιαιρείται σε πολλά παρακλάδια, αναλόγως με τον τομέα εφαρμογής και έρευνας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μας ενδιαφέρει να εστιάσουμε στην βιοϊατρική μηχανική (η οποία εμπεριέχει και το κομμάτι των βιοϊατρικών συσκευών – ιατρική απεικόνιση).

## 1.4.) Βιοϊατρική Μηχανική

---

Όπως προαναφέρθηκε, ο κλάδος της βιοϊατρικής μηχανικής έχει ως επίκεντρο την ιατρική. Αυτό σημαίνει πως ανεξαρτήτως των μεθόδων και των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται, ο στόχος είναι πάντοτε η επίλυση ιατρικών θεμάτων και προβλημάτων. Δηλαδή, μας ενδιαφέρει να αντιμετωπίσουμε ιατρικά θέματα για να βελτιώσουμε την ποιότητα ζωής του ανθρώπου, χωρίς να εστιάσουμε στην ανάλυση και την εξήγηση των αιτιών του προβλήματος που αντιμετωπίζουμε.

Η βιοϊατρική μηχανική μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα επιμέρους γνωστικά αντικείμενα:

- Εμβιομηχανική: Η εμβιομηχανική είναι η εφαρμογή των αντιλήψεων των θεωριών του μηχανικού, προκειμένου να προσομοιωθούν βασικά βιολογικά συστήματα.
- Ιατρική Τεχνολογία: Η ιατρική τεχνολογία αναφέρεται στην εφαρμογή τεχνολογιών για την ανάπτυξη νέων διαγνωστικών και θεραπευτικών τεχνικών, μηχανημάτων και συσκευών στα πεδία της βιοϊατρικής και των βιο-υλικών.
- Κλινική Μηχανική: Η κλινική μηχανική περιλαμβάνει την ανάπτυξη νέων, αλλά και τη διαχείριση ήδη υπάρχοντων, τεχνικών για τη βελτίωση της παροχής υπηρεσιών υγείας σε νοσοκομεία, κλινικές και κέντρα υγείας.
- Τεχνολογία Αποκατάστασης: Στην τεχνολογία αποκατάστασης περιλαμβάνονται η χρήση της τεχνολογίας για τη βελτίωση των συνθηκών ζωής ατόμων με ειδικά προβλήματα καθώς και η ανάπτυξη τεχνητών οργάνων.

Εκτός από αυτούς τους βασικούς τομείς, η βιοϊατρική μηχανική περιλαμβάνει κι άλλους τομείς όπως η ιατρική απεικόνιση με έμφαση στη διάγνωση και στην υποστήριξη





Η ροή πληροφοριών γίνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά. Οι μετατροπείς μετατρέπουν τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τον ανθρώπινο οργανισμό σε κάποια άλλη μορφή (συνήθως ηλεκτρική). Στη συνέχεια, τα σήματα επεξεργάζονται και παρουσιάζονται στον θεράποντα επιστήμονα. Τα στοιχεία τα οποία συνδέονται με συνεχείς γραμμές είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία ενός διαγνωστικού μηχανήματος ενώ αυτά με τις διακεκομμένες είναι προαιρετικά.

Η ροή αυτού του διαγράμματος έχει επιλεγεί για τη δόμηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Πρώτα θα αναλυθεί το στάδιο της συλλογής δεδομένων (μετατροπείς) από τον ανθρώπινο οργανισμό και στη συνέχεια η επεξεργασία των σημάτων (τελεστικοί ενισχυτές) και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στον θεράποντα επιστήμονα (απεικόνιση) με στόχο τη διάγνωση.



## 2<sup>η</sup> Ενότητα – Βασικοί Μετατροπείς και Αρχές Λειτουργίας

Όπως προαναφέρθηκε, από τις αρχές της επιστήμης της Ιατρικής, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τις αισθήσεις τους για να καθορίσουν διάφορες φυσικές παραμέτρους των ασθενών, όπως η θέση των ζωτικών οργάνων, η θερμοκρασία του σώματος, το χρώμα του δέρματος. Στην προσπάθεια του ανθρώπου για την βέλτιστη δυνατή καταγραφή των παραμέτρων αυτών, παρατηρήθηκε μια ραγδαία εφαρμογή της τεχνολογίας στους τομείς της βιοϊατρικής έρευνας. Σε πολλές περιπτώσεις κατασκευάστηκαν όργανα και μηχανήματα, η εφαρμογή των οποίων προορίζονταν για τις φυσικές επιστήμες και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για συγκεκριμένες ιατρικές εφαρμογές.

Στην παρούσα ενότητα αναλύονται οι βασικοί μηχανισμοί καθώς και η αρχή λειτουργίας των μετατροπέων οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα περισσότερα διαγνωστικά μηχανήματα. Ως μετατροπέας ορίζεται η διάταξη εκείνη η οποία μετατρέπει την ενέργεια από τη μια μορφή στην άλλη. Η πιο επιθυμητή μορφή ενέργειας που απαιτείται στην έξοδο του μετατροπέα, είναι η ηλεκτρική επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία σημάτων. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, υπάρχουν πολλές μέθοδοι με τις οποίες μπορούν τα φυσιολογικά γεγονότα να μετατραπούν σε ηλεκτρικά σήματα. Αλλαγές σε διαστάσεις (π.χ. οργάνων ή όγκων) μπορούν να μετρηθούν με μεταβολές της αντίστασης, χωρητικότητας, επαγωγής καθώς και από το φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος, χρησιμοποιούνται θερμοστάτες και θερμοζεύγη. Οι μετρητές ακτινοβολίας περιλαμβάνουν αισθητήρες θερμοκρασίας και φωτονίων.

## 2.1) Διαστασιολόγηση Οργάνων

---

Για τη βέλτιστη δυνατή διάγνωση, οι επιστήμονες ιατροί θέλουν να καταγράψουν το σχήμα, μέγεθος αλλά και τη θέση των οργάνων και ιστών του ανθρωπίνου σώματος. Η οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτές τις παραμέτρους είναι πολύ σημαντική για τη διάκριση της ομαλής ή όχι λειτουργίας των οργανισμών. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε με άμεσο είτε με έμμεσο τρόπο.

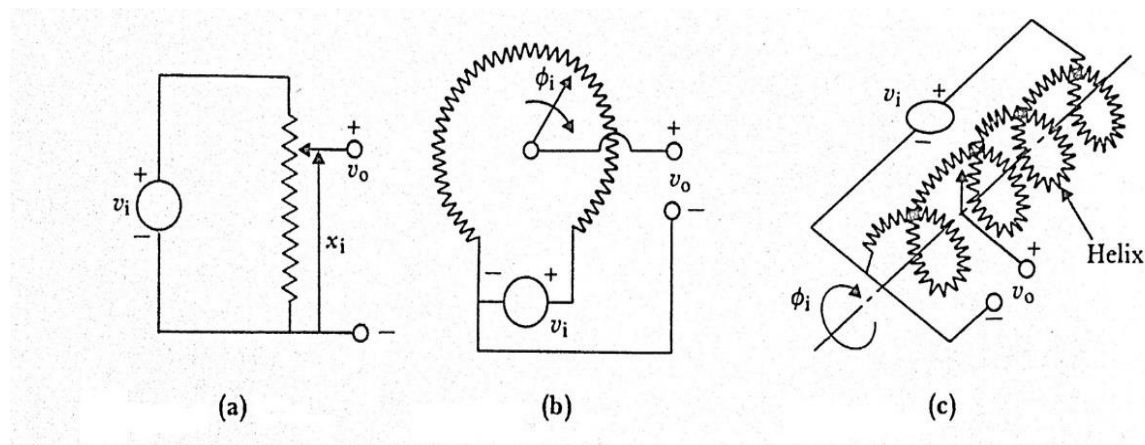
Οι άμεσες μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των μεταβολών στη διάμετρο των αιμοφόρων αγγείων και των καρδιακών θαλάμων. Οι έμμεσες μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ροής των υγρών μέσα από τις καρδιακές βαλβίδες. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση ενός μικροφώνου για την ανίχνευση των χτύπων της καρδιάς.

Οι τύποι μέσω των οποίων μπορεί να ανιχνευθεί η οποιαδήποτε αλλαγή των προαναφερθέντων παραμέτρων, είναι τέσσερις -μέσω των μεταβολών της αντίστασης, της επαγωγής, της χωρητικότητας και του φαινομένου του πιεζοηλεκτρισμού.

## 2.1.1) Μετατροπείς Μεταβλητών Αντιστάσεων

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται μια μεταβλητή αντίσταση σε ένα κύκλωμα, χρησιμοποιείται ως ποτενσιόμετρο (ή ρυθμιστής τάσης) ή ως ροοστάτης (ρυθμιστής έντασης). Στις βιοϊατρικές συσκευές, οι μεταβλητές αντιστάσεις χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σαν ποτενσιόμετρα.

Στο ακόλουθο σχήμα βρίσκονται 3 διαφορετικοί τύποι ποτενσιομέτρων που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις μετατόπισης.



**Εικόνα 2: Τύποι Ποτενσιομέτρων**

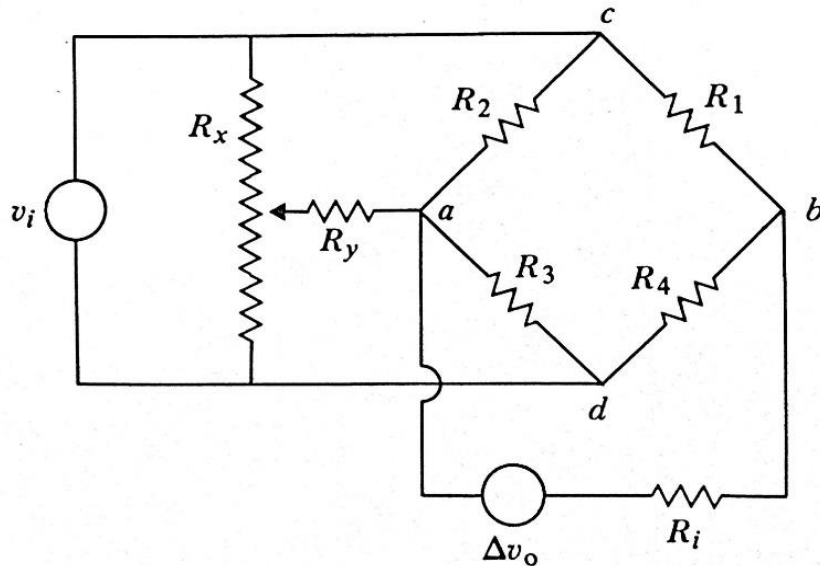
Τα ποτενσιόμετρα του σχήματος (α) χρησιμοποιούνται για να μετρούν τις μετατοπίσεις των οργάνων σε νοητούς οριζόντιους και κάθετους άξονες για αποστάσεις από 2 έως 500 mm. Τα ποτενσιόμετρα των άλλων δυο σχημάτων, χρησιμοποιούνται για να μετρούν τις ενδεχόμενες μετατοπίσεις στην γωνία, με εύρος από τις  $10^\circ$  έως τις  $50^\circ$ .

## 2.1.2) Γέφυρες Μέτρησης

Οι μετατροπείς μεταβλητών αντιστάσεων μπορούν να συνδεθούν σε ένα ή και περισσότερα άκρα μιας γέφυρας. Ο τύπος της αντίστασης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το είδος της γέφυρας.

Η γέφυρα Wheatstone είναι ιδανική για την ανίχνευση μικρών αλλαγών σε τιμές αντίστασης. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται μια γέφυρα Wheatstone στην οποία εφαρμόζεται μια DC τάση  $V_i$  και τάση εξόδου  $\Delta V_o$ , με εσωτερική αντίσταση  $R_i$ . Αποδεικνύεται με τη χρήση του

διαίρετη τάσης πως  $\Delta V_o = 0$ , δηλαδή η γέφυρα βρίσκεται σε ισορροπία όταν  $R_1/R_2 = R_4/R_3$ . Σε μια τέτοια γέφυρα μπορούν να συνδεθούν μετατροπείς μεταβλητών αντιστάσεων.



Εικόνα 3: Γέφυρα Wheatstone

## 2.1.3) Μετατροπείς Επαγωγής

Μια επαγωγή τιμής  $L$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση μιας μετατόπισης, μεταβάλλοντας οποιαδήποτε από τις 3 παραμέτρους του πηνίου:

$$L = n^2 G \mu$$

Όπου:

$n$  = ο αριθμός των σπειρών του πηνίου

$G$  = σταθερά

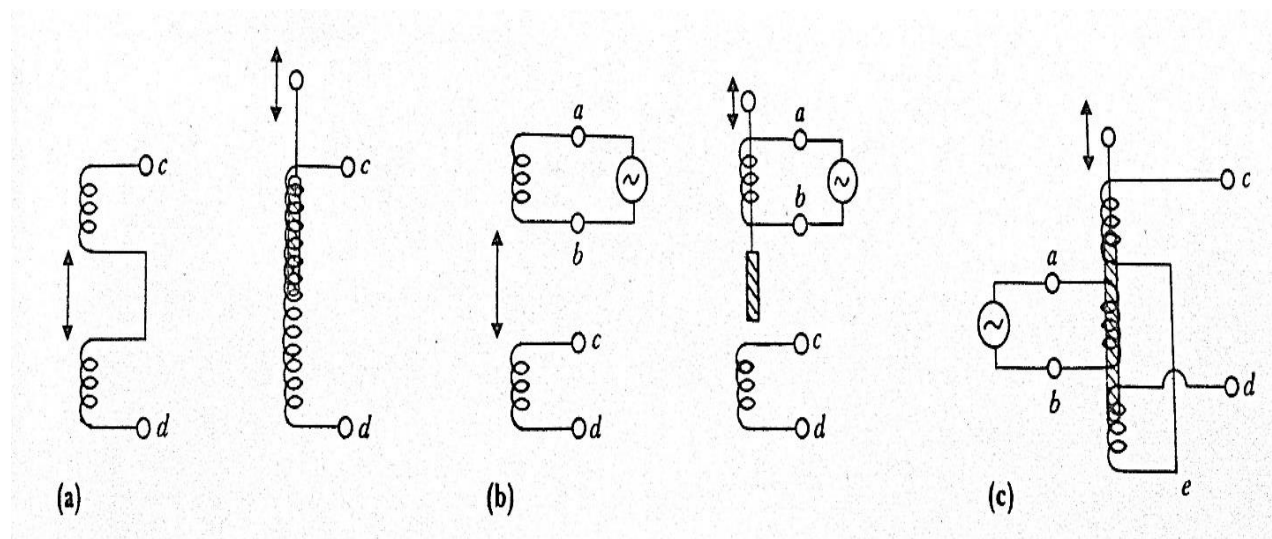
$\mu$  = διαπερατότητα

Κάθε μια από αυτές τις παραμέτρους μπορούν να αλλάξουν με την παρέμβαση μηχανικών μέσων.

Στην εικόνα που ακολουθεί, βρίσκονται οι διάφοροι τύποι επαγωγής:

- (α) Αυτοεπαγωγή
- (β) Αμοιβαία επαγωγή
- (γ) Επαγωγικοί μετατροπείς

Είναι εφικτό να γίνει μετατροπή ενός συστήματος αμοιβαίας επαγωγής σε αυτοεπαγωγή, τοποθετώντας εν σειρά ή παράλληλα τα πηνία. Επίσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.β, το σύστημα αμοιβαίας επαγωγής μετατρέπεται σε αυτεπαγωγή όταν υπάρξει σύνδεση του b και c.



**Εικόνα 4: Μετατροπείς Επαγωγής**

Ένας επαγωγικός μετατροπέας έχει το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζεται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο βρίσκεται. Ωστόσο, μπορεί να επηρεαστεί από εξωτερικά μαγνητικά πεδία λόγω της εγγύτητας των μαγνητικών υλικών.

## 2.1.4) Μετατροπείς Χωρητικότητας

Η χωρητικότητα μεταξύ δυο πλακών σε παραλληλία, εμβαδού A, με μεταξύ τους απόσταση  $\chi$ , δίνεται από τον τύπο:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{\chi}$$

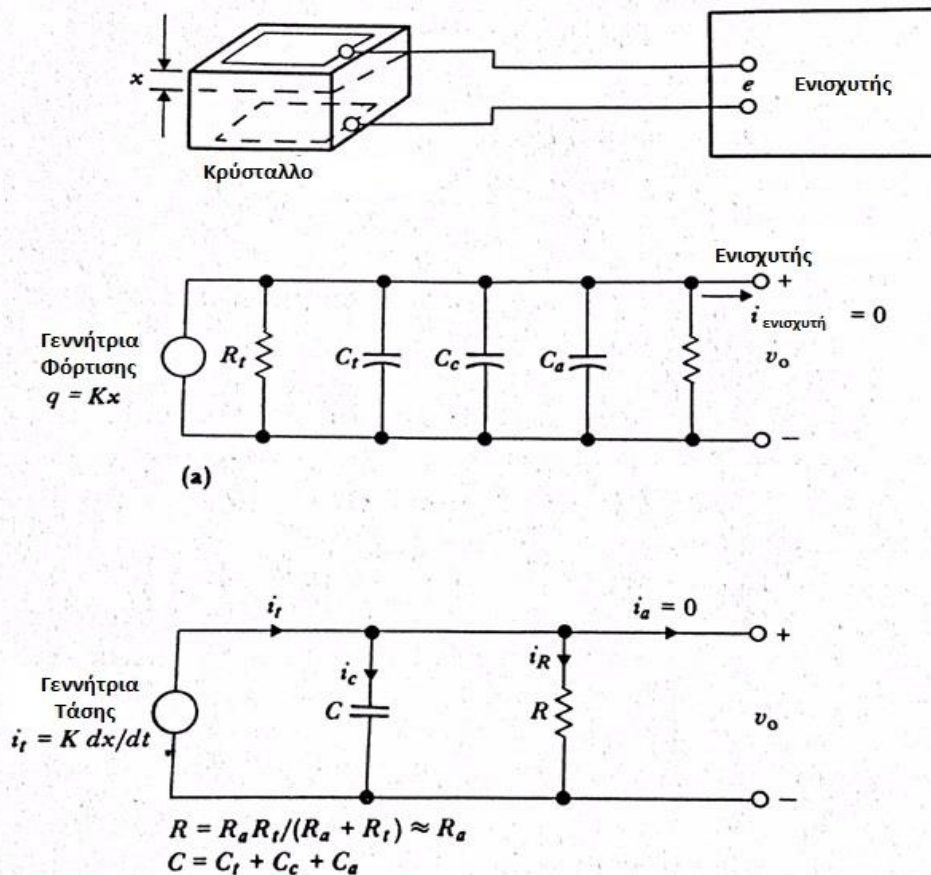
Όπου  $\epsilon_0$ , η διηλεκτρική σταθερά του κενού,  $\epsilon_r$  η διηλεκτρική σταθερά του μονωτή. Μπορούμε να μετρήσουμε ενδεχόμενες μετατοπίσεις αλλάζοντας οποιαδήποτε από τις τρεις παραμέτρους:  $\epsilon_r$ , A ή  $\chi$ . Ωστόσο, η πιο εύκολη παράμετρος που μπορεί να αλλαχθεί (και χρησιμοποιείται συνήθως στην πράξη) είναι η απόσταση  $\chi$  μεταξύ των δυο πλακών.

Η ευαισθησία ενός μετατροπέα χωρητικότητας αυξάνει όσο ελαττώνεται η απόσταση μεταξύ των δυο πλακών.

## 2.1.5) Πιεζοηλεκτρικοί Μετατροπείς

Οι πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μετατοπίσεων οργάνων και όγκων αλλά και για την καταμέτρηση ήχων της καρδιάς. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά παράγουν ηλεκτρική τάση όταν βρεθούν υπό μηχανική πίεση και αντιστρόφως, μια ηλεκτρική τάση μπορεί να προκαλέσει μηχανική παραμόρφωση στο υλικό. Η αρχή λειτουργίας τους είναι, πως όταν ένα ασύμμετρο κρυσταλλικό πλέγμα αποδομείται, τότε λαμβάνει χώρα μια επαναδόμηση η οποία προκαλεί θετικές και αρνητικές φορτίσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται αντίστροφη πολικότητα σε αντίθετες πλευρές του κρυστάλλου.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά έχουν υψηλή αλλά πεπερασμένη αντίσταση. Αποτέλεσμα αυτού, αν μια στατική ανάκλαση  $x$  εφαρμοστεί, η υπάρχει διαρροή της φόρτισης μέσω της αντίστασης διαρροής. Επομένως είναι βασικό η σύνθετη αντίσταση εισόδου του εξωτερικού μηχανήματος μέτρησης τάσης να είναι υψηλότερη από αυτή του πιεζοηλεκτρικού μετατροπέα. Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός τέτοιου μετατροπέα, είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 5: Ισοδύναμο κύκλωμα Πιεζοστάτη

Όπου  $R_t$  = αντίσταση διαρροής του μετατροπέα,  $C_t$  = χωρητικότητα του μετατροπέα,  $C_c$  = χωρητικότητα των καλωδίων,  $C_a$  = χωρητικότητα ενισχυτή εισόδου,  $R_a$  = αντίσταση ενισχυτή εισόδου και  $q$  = γεννήτρια φόρτισης.

Στο κύκλωμα της εικόνας 4β. είναι μια τροποποιημένη παραλλαγή ενός πιεζοστάτη, όπου η γεννήτρια φόρτισης έχει αντικατασταθεί από μια γεννήτρια τάσης.

## 2.2) Θερμομετρία

---

Η θερμοκρασία του σώματος ενός ασθενή δίνει σημαντικές πληροφορίες στον επιστήμονα ιατρό, αναφορικά με τη φυσική κατάσταση του πρώτου. Η εξωτερική σωματική θερμοκρασία είναι μια από τις πολλές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τη διάκριση ενός ασθενή ο οποίος βρίσκεται σε κατάσταση κυκλοφοριακής καταπληξίας (σοκ), αφού η μειωμένη πίεση του αίματος ενός ασθενή που βρίσκεται σε κατάσταση καταπληξίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κυκλοφορίας του αίματος στο σώμα. Ξαφνική μείωση της θερμοκρασίας στο μεγάλο δάχτυλο του ποδιού, είναι ένα σύνηθες σύμπτωμα που προηγείται της κυκλοφοριακής καταπληξίας. Από την άλλη μεριά, οι ιώσεις ανιχνεύονται από την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος, που συνοδεύεται από ερεθισμένο δέρμα και απώλειες υγρών.

Η τεχνική της αναισθησίας μειώνει την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος, περιορίζοντας τη δραστηριότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος. Έως και σήμερα, η τεχνική της αναισθησίας εφαρμόζεται ευρέως από τους επιστήμονες ιατρούς κατά τη διάρκεια πολύπλοκων χειρουργικών επεμβάσεων, ούτως ώστε να μειώσουν τη μεταβολική διαδικασία και τη κυκλοφορία του αίματος του ασθενή.

Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει καταμέτρηση της θερμοκρασίας (εσωτερικής ή εξωτερικής) ενός ασθενή, θα πρέπει να επιλεγεί πολύ προσεκτικά ούτως ώστε αυτή να μετρηθεί με τη βέλτιστη δυνατή ακρίβεια. Επιπροσθέτως, οι συνθήκες περιβάλλοντος μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της μέτρησης.

Όπως θα δούμε και παρακάτω, για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούμε, ως επί το πλείστον, θερμοζεύγη, θερμίστορες, ακτινοβολία και χημικούς ανιχνευτές.

### 2.2.1) Θερμοζεύγη

---

Το θερμοζεύγος αποτελείται από δυο ανόμοιους μεταλλικούς αγωγούς που είναι συνδεδεμένοι σε ένα κοινό άκρο. Όταν θερμάνουμε αυτό το κοινό άκρο, τότε εμφανίζεται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους δυο μεταλλικούς αγωγούς, η οποία εξαρτάται από τη



διαφορά θερμοκρασίας.

Ως γνωστόν, τα μέταλλα ως καλοί αγωγοί της θερμοκρασίας και του ηλεκτρισμού, έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Για κάθε τιμή θερμοκρασίας μεγαλύτερη του μηδενός, η κινητική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη του μηδενός, δηλαδή αυτά αρχίζουν και κινούνται διαρκώς στη μάζα του μετάλλου. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κινητική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η κίνηση αυτών είναι τυχαία, προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

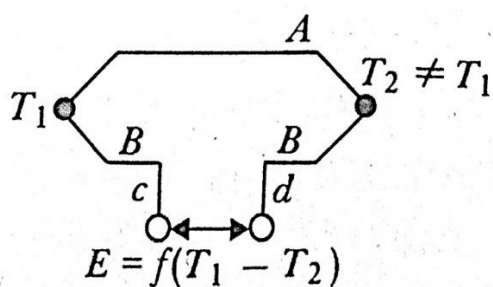
Έστω πως θερμαίνεται το ένα άκρο του μετάλλου. Εφόσον η θερμοκρασία στο άκρο αυτό είναι υψηλότερη, τα ηλεκτρόνια αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και συνεπώς, μεγαλύτερη ταχύτητα. Έτσι, τα ηλεκτρόνια του θερμού άκρου κινούνται γρηγορότερα από τη θερμή περιοχή προς την ψυχρή σε σχέση με αυτά της ψυχρής περιοχής προς τη θερμή. Αποτέλεσμα αυτού, στη θερμή περιοχή παραμένουν λιγότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια από ότι στη ψυχρή περιοχή, δηλαδή υπάρχει συσσώρευση ελεύθερων ηλεκτρονίων στο ψυχρό άκρο. Η συσσώρευση αυτή δημιουργεί ηλεκτροστατικό πεδίο εντός του μετάλλου, η φορά του οποίου αποτρέπει την περαιτέρω συσσώρευση ηλεκτρονίων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Setback.

Η ΗΕΔ που αναπτύσσεται στα άκρα του μετάλλου, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$E = S*(T_{\text{ΘΕΡΜΟ}} - T_{\text{ΨΥΧΡΟ}}) = S*\Delta T$$

Όπου  $T_{\text{ΘΕΡΜΟ}}$  &  $T_{\text{ΨΥΧΡΟ}}$  η θερμοκρασία του θερμού και του ψυχρού άκρου αντίστοιχα. Ο συντελεστής  $S$  ονομάζεται συντελεστής Seebeck και έχει διαφορετική τιμή για κάθε υλικό. Από την τελευταία σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε τη διαφορά θερμοκρασίας θερμού – ψυχρού άκρου.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός θερμοζεύγους.



Εικόνα 6 – Κύκλωμα Θερμοζεύγους

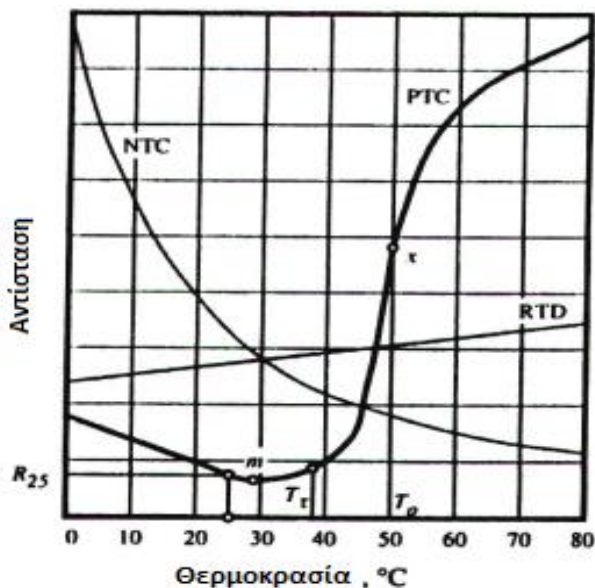
Για να έχουμε τη βέλτιστη δυνατή ακρίβεια στις μετρήσεις μας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε παραπάνω από ένα θερμοζεύγος, όλα συνδεδεμένα εν σειρά και με το ίδιο κοινό κόμβο. Τα κύρια πλεονεκτήματα των θερμοζευγών είναι πως έχουν πολύ γρήγορη



απόκριση (έως και 1 ms), μικρό μέγεθος (έως και 12 μm διάμετρο), μεγάλη διάρκεια ζωής και ευκολία κατασκευής. Ωστόσο έχουν και κάποια μειονεκτήματα, όπως η μικρή τάση εξόδου, η μικρή ακρίβεια και η ανάγκη ύπαρξης μιας θερμοκρασίας αναφοράς.

Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται ευρέως στη διάγνωση, καθώς λόγω του πολύ μικρού τους μεγέθους μπορούν να τοποθετηθούν στο εσωτερικό καθετήρων και υποδόριων ενέσεων.

## 2.2.2) Θερμίστορες (Αισθητήρες Θερμοκρασίας)



Εικόνα 7 - Σχέση Αντίστασης/Θερμοκρασίας

Το θερμίστορ είναι ημιαγωγοί κατασκευασμένοι από κεραμικά υλικά τα οποία είναι θερμικές αντιστάσεις με πολύ υψηλό αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας. Αυτά τα υλικά αντιδρούν σε οποιαδήποτε αλλαγή της θερμοκρασίας με τρόπο αντίθετο από αυτόν που αντιδρούν τα διάφορα μέταλλα. Η αντίσταση των θερμοίστερων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ενώ αυξάνεται με τη μείωση αυτής (PTC θερμίστορ).

Το 1971 ο Saroff μελέτησε τους διάφορους τύπους θερμοίστερων, ώστε να καθορίσει ποιους θα ταίριαζαν καλύτερα σε βιοϊατρικές εφαρμογές. Η τιμή της αντίστασης των θερμοίστερων που

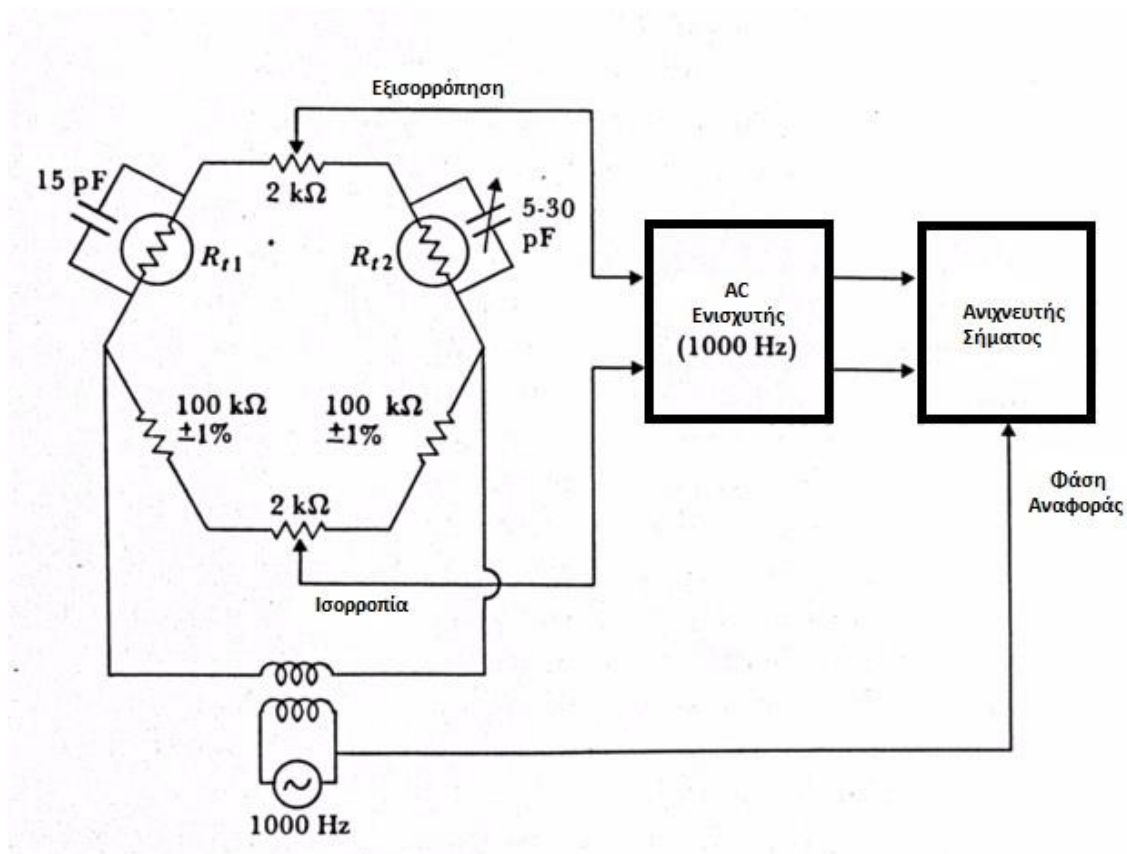
χρησιμοποιούνται σε βιοϊατρικές εφαρμογές κυμαίνεται μεταξύ του 1Ω έως 100Ω. Το μέγεθός τους είναι πολύ μικρό (μπορούν να κατασκευαστούν με διάμετρο έως και 0.5 mm), έχουν μεγάλη ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας (-3 έως -5% / °C) και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής ( $\pm 0,2\%$  της ονομαστικής αντίστασης ανά έτος).

Τα θερμίστορες διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, στα αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (negative temperature coefficient – NTC) και στα θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (positive temperature coefficient – PTC). Στο ακόλουθο σχήμα βλέπουμε τη μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με τη θερμοκρασία, ενός PTC & NTC θερμοίστερων, σε σύγκριση με ένα αισθητήριο αντίστασης (RTD).

Στα NTC θερμίστορες, η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουν δηλαδή αρνητικό θερμικό συντελεστή. Η σχέση της θερμοκρασίας και της αντίστασης είναι μη γραμμική. Αντίθετα, στα PTC θερμίστορες, η αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, παρουσιάζουν δηλαδή θετικό θερμικό συντελεστή.

Οι Nancollas & Hardy το 1967 σχεδίασαν μια γέφυρα εναλλασσόμενου ρεύματος με θερμίστορες, για τη χρήση αυτής στη Θερμομετρία (μετρήσεις θερμοκρασίας). Η τιμή της συχνότητας μεταφοράς επιλέγεται με κριτήριο την αθόρυβη λειτουργία των στοιχείων της γέφυρας (ενισχυτής, θερμίστορες). Ένα σύστημα αποδιαμόρφωσης χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του σήματος. Οι διαφορές στις τιμές χωρητικότητας των θερμίστορες, εξισορροπείται με την τοποθέτηση ενός μεταβλητού πυκνωτή παράλληλα με το ένα θερμίστορ και ενός σταθερού πυκνωτή παράλληλα στο άλλο.

Τελεστικοί ενισχυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της τάσης σε ένα θερμίστορ, συναρτήσει της θερμοκρασίας. Στην πράξη, τα συγκεκριμένα κυκλώματα εφαρμόζουν μια συνεχή τάση στο θερμίστορ και η καταγραφή της ροής ρεύματος γίνεται μέσω ενός μετατροπέα έντασης σε τάση (current to voltage converter).



**Εικόνα 8 – AC Γέφυρα με Θερμίστορες**

Τα θερμίστορ κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές, όπως επίπεδα, σε ολοκληρωμένο κύκλωμα, σε μορφή αντίστασης κ.λ.π. Στη διάγνωση, τα επίπεδα θερμίστορ τα οποία περικλύονται σε ένα γυάλινο περίβλημα, είναι αυτά που έχουν την μεγαλύτερη εφαρμογή. Το γυάλινο περίβλημα τα προστατεύει από τις αντίξοες συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του ανθρωπίνου σώματος, χωρίς να προκαλεί απώλειες στην ακρίβεια των μετρήσεων. Το μικρό τους μέγεθος τα καθιστά ιδανικά για την τοποθέτησή τους σε καθετήρες και σε υποδόριες ενέσεις. Υπάρχουν επίσης θερμίστορ με ανοξειδωτή επιφάνεια για διαδερμική μέτρηση θερμοκρασίας ή με αποστειρούμενο περίβλημα σιλκόνης για ενδοκοιλιακές μετρήσεις.

## 2.3) Ακτινοβολία

---

Η ακτινοβολία είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται στην ενέργεια που μπορεί να μεταφερθεί μέσω του περιβάλλοντος. Μερικά από τα είδη ακτινοβολίας που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή είναι το ορατό και υπεριώδες φως, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα. Ωστόσο, υπάρχει και η ιατρική ραδιενέργεια, αυτή που χρησιμοποιείται για την άντληση πληροφοριών από το ανθρώπινο σώμα. Ανάλογα με το ποσό της ακτινοβολίας που δέχεται ένας ανθρώπινος οργανισμός, έχουμε και διαφορετικά αποτελέσματα. Μικρές ποσότητες αυτής χρησιμοποιούνται στη διάγνωση (ακτινογραφίες, υπερηχογραφήματα, αξονικές τομογραφίες κτλ.) ενώ οι μεγάλες ποσότητες χρησιμοποιούνται σε θεραπευτικές μεθόδους και αγωγές, κυρίως αντικαρκινικές (εξολόθρευση καρκινικών κυττάρων).

### 2.3.1) Θερμομετρία Ακτινοβολίας

---

Η βάση της θερμομετρίας της ακτινοβολίας, είναι πως υπάρχει μια σχέση μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός αντικειμένου και της ακτινοβολούμενης ισχύος του. Βάση αυτής της παραδοχής, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση της θερμοκρασίας ενός σώματος χωρίς να υπάρξει φυσική επαφή με αυτό.

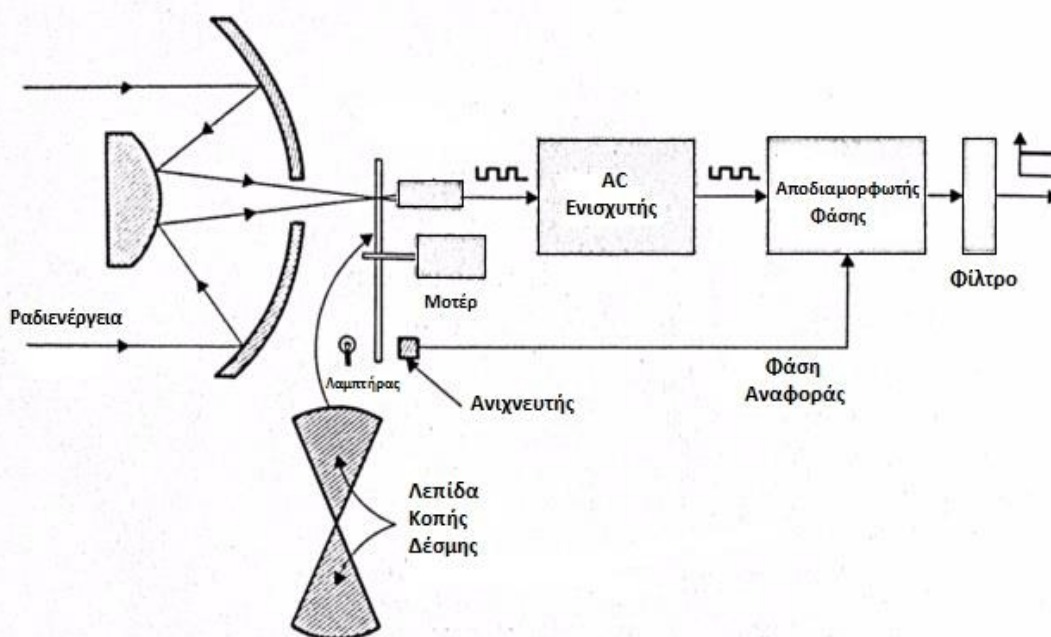
Η Ιατρική Θερμογραφία είναι μια τεχνική όπου η θερμοκρασία σε διάφορα σημεία ενός σώματος καταγράφεται με ακρίβεια μερικών δεκάτων ενός βαθμού Κέλβιν. Η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να διαφέρει από σημείο σε σημείο, εξαρτώμενη από τις τυχόν κυτταρικές ή κυκλοφορικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε εκείνο το σημείο του σώματος. Η θερμογραφία χρησιμοποιείται με αρκετά υψηλά ποσοστά επιτυχίας για την πρόωγη ανίχνευση του καρκίνου του μαστού, για τον καθορισμό του σημείου στο οποίο υπάρχουν αρθρικές διαταραχές, αλλά και για την ανίχνευση ενδεχόμενων δυσλειτουργιών στο κυκλοφοριακό σύστημα (φλεβική θρόμβωση, αρτηριακές αποφράξεις κ.α.).

Κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη του μηδενός, εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική δύναμη, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία αυτού καθώς και από τις φυσικές του

ιδιότητες. Ένα μέλαν σώμα είναι ο ιδανικός πομπός θερμότητας και εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ένα σώμα δίνεται από το νόμο του Planck.

Οι υπέρυθροι ανιχνευτές καθώς και τα διάφορα άλλα συστήματα ανίχνευσης που χρησιμοποιούμε για την ακτινοβολία, θα πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη ευαισθησία λόγω των αδύναμων σημάτων. Η χρονική τους απόκριση θα πρέπει να είναι πολύ γρήγορη και το κατάλληλο μήκος κύματος που να ταιριάζει με την πηγή της ακτινοβολίας. Θερμικοί ανιχνευτές αλλά και ανιχνευτές φωτονίων χρησιμοποιούνται ως υπέρυθροι ανιχνευτές. Τα είδη των υπέρυθρων ανιχνευτών είναι δυο και θα αναλυθούν περαιτέρω στη συνέχεια. Οι θερμικοί ανιχνευτές έχουν μικρή ευαισθησία και αντιδρούν σε όλα τα μήκη κύματος.

Για την ενίσχυση, επεξεργασία και την απεικόνιση αυτών των αδύναμων σημάτων, θα πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος εξοπλισμός. Τα περισσότερα ραδιόμετρα (μετρητές ραδιενέργειας) χρησιμοποιούν ένα σύστημα διακεκομμένης δέσμης για να διακόπτουν τη ραδιενέργεια με σταθερή συχνότητα (μερικές εκατοντάδες Hertz). Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός τυπικού ραδιομέτρου/θερμομέτρου διακεκομμένης ακτίνας. Μέσω ενός καθρέπτη, η ακτινοβολία στρέφεται προς τον ανιχνευτή. Μια στρεφόμενη λεπίδα κοπής, μαύρης απόχρωσης, διακόπτει τη δέσμη της ακτινοβολίας με σταθερό ρυθμό. Η έξοδος του ανιχνευτή είναι μια σειρά παλμών με εύρος ανάλογο της ισχύος της πηγής ραδιενέργειας. Το εναλλασσόμενο σήμα ενισχύεται και στη συνέχεια φιλτράρεται για να δώσει ένα συνεχές σήμα ανάλογο με την μετρούμενη θερμοκρασία. Αυτό το συνεχές σήμα μπορεί να απεικονιστεί ή να καταγραφεί. Τα υπέρυθρα μικροσκόπια έχουν σχεδιαστεί πάνω σε αυτή την τεχνική.



**Εικόνα 9 – Κύκλωμα Ραδιομέτρου/Θερμομέτρου**

## 2.3.2) Ανιχνευτές Ραδιενέργειας

---

Οι πιο κοινοί ανιχνευτές ραδιενέργειας είναι ηλεκτρονικοί και βασίζονται στα ηλεκτρικά σήματα τα οποία παράγει η ακτινοβολία μέσα στην ύλη. Βέβαια, υπάρχουν και ανιχνευτές που δε χρησιμοποιούν ηλεκτρικά σήματα για τη μέτρηση της ραδιενέργειας, όπως για παράδειγμα οι φωτογραφικές πλάκες, τα χημικά δοσίμετρα και τα δοσίμετρα φωτοδιαύγειας.

Οι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές ραδιενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες, στους θερμικούς ανιχνευτές και στους ανιχνευτές φωτός.

- Θερμικοί ανιχνευτές: Οι θερμικοί ανιχνευτές απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα, προκαλώντας έτσι αύξηση της θερμοκρασίας του ανιχνευτή. Ένα κλασικό παράδειγμα θερμικού ανιχνευτή είναι το θερμίστορ και τα θερμοζεύγη. Η ευαισθησία του ανιχνευτή δεν αλλάζει με τη μεταβολή του μήκους κύματος και η απόκρισή του είναι αργή. Τυχόν αλλαγές του μετρούμενου μεγέθους από αλλαγές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος δεν μπορούν να διαχωριστούν από τις πιθανές αλλαγές της εισόδου λόγω της πηγής, οπότε χρησιμοποιείται ένας μηχανικός "κόφτης" σε σχήμα φτερωτής, που, περιοδικά, κόβει την ακτινοβολία της πηγής.

Ο πυροηλεκτρικός ανιχνευτής είναι ένα πυροηλεκτρικό υλικό που αποτελείται από διατάξεις κρυστάλλων, ικανές να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν η επιφάνειά τους εκτεθεί σε θερμότητα. Σε αντίθεση με τα θερμοηλεκτρικά στοιχεία που παράγουν μια σταθερή τάση όταν δυο επιφάνειες, με διαφορετική αλλά σταθερή θερμοκρασία, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, τα πυροηλεκτρικά στοιχεία παράγουν τάση όταν αντληφθούν κάποια μεταβολή στη θερμοκρασία. Παράλληλα, παρουσιάζουν πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια ως αποτέλεσμα μηχανικής διέγερσης.

- Ανιχνευτές Φωτός: Οι συγκεκριμένοι ανιχνευτές απορροφούν ενέργεια από τα φωτόνια, την οποία χρησιμοποιούν για να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια από το υλικό κατασκευής του ανιχνευτή. Κλασικοί ανιχνευτές φωτός αποτελούν ο ανθρώπινος οφθαλμός, η φωτοδίοδος, η φωτοσωλήνας κ.α.

*Ανιχνευτές φωτοεκπομπής:* Αυτοί οι ανιχνευτές (φωτοδιόδοι, φωτοσωλήνες) αποτελούνται από φωτοκαθόδους, επικαλυμμένες με αλκαλικά υλικά. Αν η ενέργεια των φωτονίων της εκπέμπουσας ακτινοβολίας είναι αρκετά υψηλή ούτως ώστε να διαπεράσουν τη φωτοκάθοδο, τότε αυτή εκλύει ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά έλκονται από μια άνοδο και σχηματίζουν μια τάση η οποία μπορεί να μετρηθεί από ένα εξωτερικό κύκλωμα.

## 2.4) Λοιποί Ανιχνευτές στην Βιοϊατρική

---

Εκτός των βασικών μετατροπών που επεξηγήθηκαν στις παραπάνω παραγράφους, υπάρχει και πληθώρα άλλων διατάξεων στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην ιατρική, που είτε αποτελούν παραλλαγή των βασικών μετατροπών ή εφαρμόζουν βασικές αρχές της φυσικής και της χημείας για να ανιχνεύσουν μηχανική κίνηση, εξασκούμενη δύναμη, ηλεκτρική ή χημική δραστηριότητα καθώς και αλλαγές ροής και πίεσης υγρών και αερίων.

Αυτοί οι ανιχνευτές συναντώνται από ένα απλό αγροτικό ιατρείο (ηλεκτρόδια καρδιογραφήματος) μέχρι και σε όλα τα τμήματα ενός σύγχρονου νοσοκομείου (από την μέτρηση του χορηγούμενου οξυγόνου στο τμήμα εντατικής νοσηλείας μέχρι την μέτρηση της πίεσης του αίματος στους καρδιακούς κόλπους στο τμήμα καρδιακού καθετηριασμού).

## 3<sup>η</sup> Ενότητα – Ενισχυτές και Επεξεργασία Σήματος



Τα βιοηλεκτρικά σήματα, στην πλειοψηφία τους, είναι πολύ αδύναμα και απαιτούν ενίσχυση. Για την ενίσχυση αυτών, χρησιμοποιούμε τους τελεστικούς ενισχυτές.

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, δηλαδή μια συλλογή μεμονωμένων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών στοιχείων σε κατάλληλη συνδεσμολογία που ενσωματώνονται σε ένα ενιαίο κομμάτι πυριτίου. Ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να εκτελέσει ένα μεγάλο αριθμό διαδικασιών, όπως η πρόσθεση, το φιλτράρισμα και η ολοκλήρωση, διαδικασίες που βασίζονται στις ιδιότητες των ιδανικών ενισχυτών και των ιδανικών κυκλωματικών στοιχείων. Η εμφάνιση του τελεστικού ενισχυτή σε ολοκληρωμένη μορφή, αποτέλεσε την αρχή μιας νέας εποχής για τη σύγχρονη ηλεκτρονική. Βρίσκονται στις περισσότερες εφαρμογές μετρήσεις και στα περισσότερα ηλεκτρικά όργανα και χρησιμεύουν ως εξαιρετικά ευπροσάρμοστες δόκιμες μονάδες για οποιαδήποτε εφαρμογή που απαιτεί επεξεργασία ηλεκτρικών σημάτων.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα απλοποιημένα ηλεκτρονικά μοντέλα του τελεστικού ενισχυτή. Η απλότητα των μοντέλων αυτών επιτρέπει τη χρήση του T.E. χωρίς την ανάγκη της λεπτομερούς περιγραφής της εσωτερικής τους λειτουργίας. Η τεχνολογία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έχει φτάσει σήμερα σε τέτοιο προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης, ώστε μπορεί θεωρηθεί πως ο τελεστικός ενισχυτής, στις περισσότερες εφαρμογές, είναι ιδανικός.

## 3.1) Μοντέλο Ανοιχτού Βρόγχου

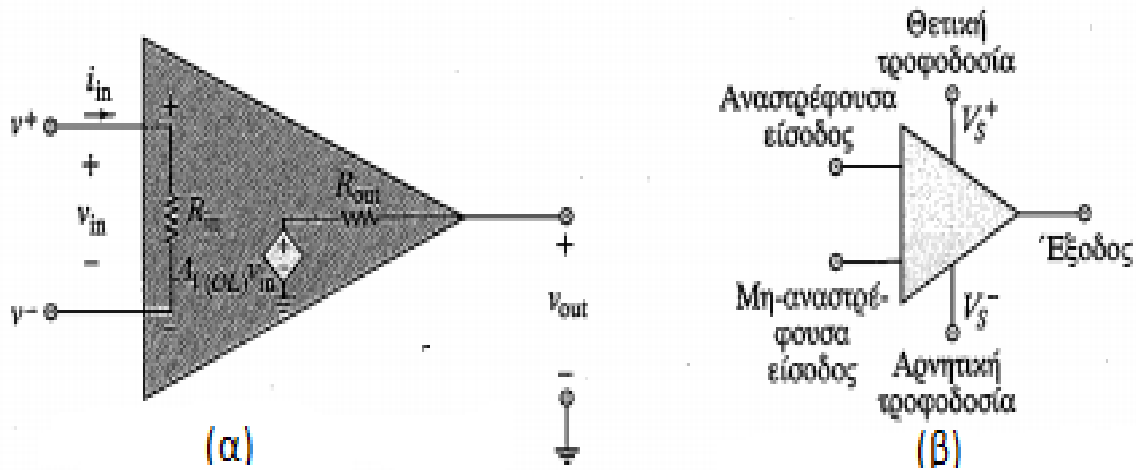
Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής συμπεριφέρεται πανομοιότυπα με έναν ιδανικό διαφορικό ενισχυτή (differential amplifier), δηλαδή μια συσκευή που ενισχύει τη διαφορά μεταξύ δυο τάσεων. Οι τελεστικοί ενισχυτές χαρακτηρίζονται από την περίπου άπειρη αντίσταση εισόδου και από την πολύ μικρή αντίσταση εξόδου. Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι η ενισχυμένη διαφορά των δυο τάσεων εισόδου:

$$v_{out} = A_{V(OL)}(v^+ - v^-)$$

Η είσοδος που σημειώνεται με θετικό πρόσημο ονομάζεται μη αναστρέφουσα είσοδος (noninverting input), ενώ αυτή με το αρνητικό πρόσημο είναι η αναστρέφουσα είσοδος (inverting input). Ο παράγοντας ενίσχυσης ή το κέρδος  $A_{V(OL)}$  ονομάζεται κέρδος τάσης ανοιχτού βρόγχου (open loop voltage gain) και είναι πολύ μεγάλο, τυπικά της τάξης του  $10^5$  έως  $10^7$ . Μαζί με την υψηλή αντίσταση εισόδου και την αντίστοιχη χαμηλή εξόδου, η επίδραση ενός μεγάλου κέρδους τάσης ανοιχτού βρόγχου, είναι τέτοια ώστε ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη σχεδίαση σχεδόν ιδανικών ενισχυτών τάσης ή ρεύματος. Στην πραγματικότητα, η ανάλυση ενός κυκλώματος με τελεστικό ενισχυτή απαιτεί μια προϋπόθεση, ότι το ρεύμα στο κύκλωμα εισόδου του ενισχυτή, είναι μηδέν. Αυτή η προϋπόθεση



ικανοποιείται από τη πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου και το μεγάλο κέρδος τάσης ανοιχτού βρόγχου.



Εικόνα 10: α) Το μοντέλο του τελεστικού ενισχυτή  
β) Το σύμβολο του τελεστικού ενισχυτή

Εάν θα θέλαμε να συγκεντρώσουμε όλες τις ιδιότητες του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή σε ένα πινακάκι, τότε αυτό θα ήταν το ακόλουθο:

Χαρακτηριστική παράμετρος	Σύμβολο	Μέγεθος
Αντίσταση εισόδου	$R_i$	$\infty$
Αντίσταση εξόδου	$R_o$	0
Απολαβή τάσης	$A_v$	$\infty$
Απόκριση συχνότητας (εύρος ζώνης)	$BW$	$\infty$
Τέλεια ισοστάθμιση	$V_{out}=0$ όταν $V_1=V_2$	
Τα χαρακτηριστικά δεν μεταβάλλονται με την θερμοκρασία		

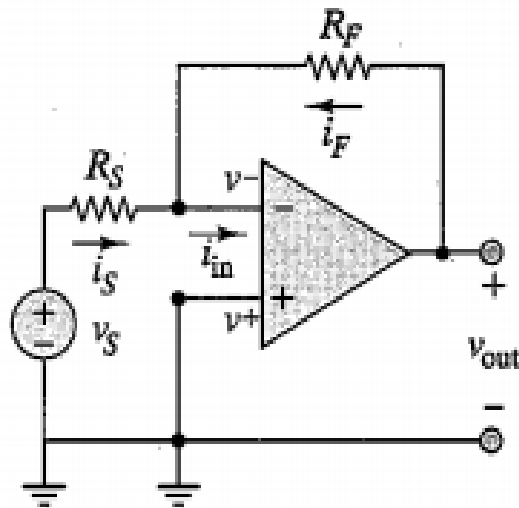
Εικόνα 10: Ιδιότητες Ιδανικού Τ.Ε.

## 3.2) Ο Τελεστικός Ενισχυτής σε κυκλώματα κλειστού βρόγχου

Τα βασικότερα κυκλώματα κλειστού βρόγχου στα οποία μπορούμε να συναντήσουμε έναν τελεστικό ενισχυτή, είναι τα ακόλουθα:

## 3.2.1) Αναστρέφων Ενισχυτής

Ο αναστρέφων ενισχυτής (inverting amplifier) είναι αυτός του ακόλουθου σχήματος.



**Εικόνα 11: Κύκλωμα του αναστρέφων ενισχυτή**

Το προς ενίσχυση σήμα εισόδου συνδέεται μέσω μιας αντίστασης με την αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή, ενώ η μη αναστρέφουσα είσοδος, γειώνεται. Επιλέγοντας την κατάλληλη τιμή λόγου των αντιστάσεων, μπορούμε να έχουμε την επιθυμητή τιμή κέρδους που χρειαζόμαστε, αναλόγως τις ανάγκες μας.

Στον κόμβο της αναστρέφουσας εισόδου, έχουμε:

$$i_S + i_F = i_{in}$$

Το ρεύμα που ρέει από την έξοδο προς την αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή, ονομάζεται ρεύμα ανατροφοδότησης ή ανάδρασης (feed-back current), γιατί στην ουσία είναι ένα ρεύμα που τροφοδοτεί την είσοδο του τελεστικού ενισχυτή από την έξοδό του. Από τον νόμο του Ohm υπολογίζουμε τα ρεύματα:

$$i_S = \frac{v_S - v^-}{R_S} \quad i_F = \frac{v_{out} - v^-}{R_F} \quad i_{in} = 0$$

(Η αντίσταση εισόδου θεωρούμε πως είναι πολύ μεγάλη και συνεπώς  $i_{in} = 0$ ). Η τάση στη μη αναστρέφουσα είσοδο είναι μηδενική αφού είναι συνδεδεμένη με τη γείωση. Με βάση το μοντέλο ανοιχτού βρόγχου του τελεστικού ενισχυτή, ισχύει:

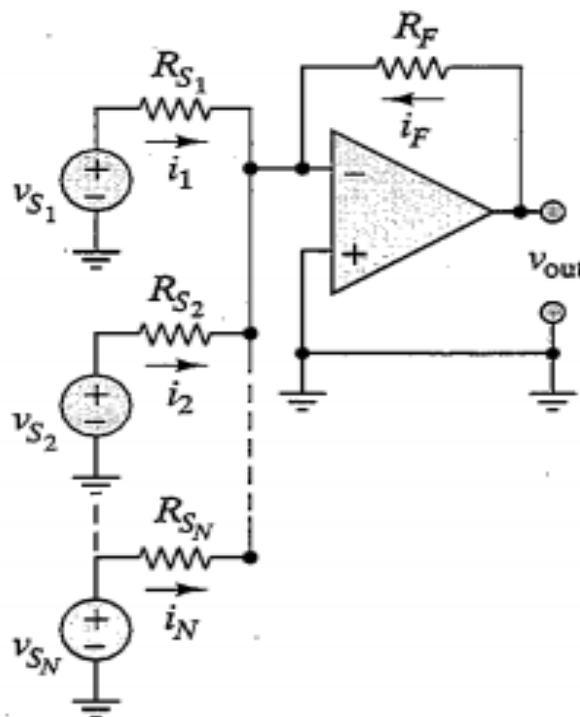
$$v_{out} = A_{V(OL)}(v^+ - v^-) = -A_{V(OL)}v^-$$

$$v^- = -\frac{v_{out}}{A_{V(OL)}}$$

Έχοντας υπολογίσει την τάση στην αναστρέφουσα είσοδο σαν συνάρτηση της τάσης εξόδου, μπορούμε να γράψουμε μια συνάρτηση για το κέρδος τάσης του ενισχυτή  $V_{out}/V_S$ . Η ποσότητα αυτή καλείται κέρδος τάσης κλειστού βρόγχου, επειδή η ανατροφοδότηση της εισόδου από την έξοδο στοιχειοθετεί έναν κλειστό βρόγχο.

### 3.2.2) Ο Αθροιστής

Ένα χρήσιμο κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή το οποίο έχει βασιστεί πάνω σε αυτό του αναστρέφων ενισχυτή, είναι ο αθροιστής (summing amplifier). Αυτό το κύκλωμα, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, χρησιμοποιείται για την άθροιση των τάσεων των πηγών σημάτων.



**Εικόνα 12: Κύκλωμα αθροιστή**

Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης του τελεστικού ενισχυτή ως ενισχυτή αθροίσματος, είναι ότι το άθροισμα εμφανίζεται ανεξάρτητα από τις σύνθετες αντιστάσεις εξόδου των πηγών,

έτσι ώστε οι πηγές με διαφορετικές εσωτερικές σύνθετες αντιστάσεις δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους.

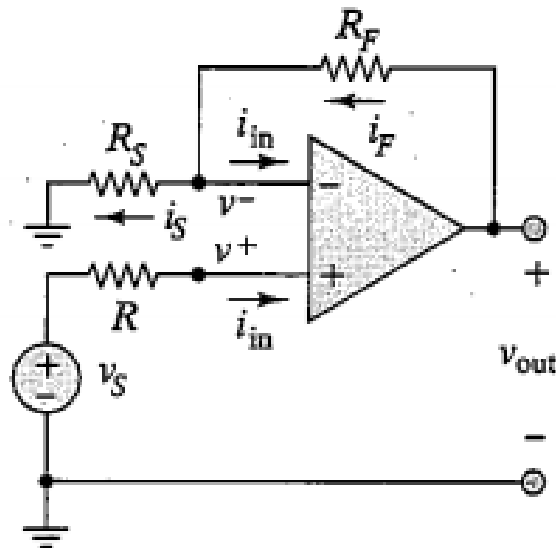
Εν κατακλείδι, η έξοδος του ενισχυτή αθροίσματος είναι η:

$$v_{\text{out}} = - \sum_{n=1}^N \frac{R_F}{R_{S_n}} v_{S_n}$$

Δηλαδή η έξοδος αποτελείται από το άθροισμα των  $v$ -πηγών εισόδου, με παράγοντα στάθμισης για κάθε πηγή ίσο με το λόγο της αντίστασης ανατροφοδότησης προς την αντίσταση εισόδου κάθε πηγής.

### 3.2.3) Ο μη αναστρέφων Ενισχυτής

Για να αποφευχθεί το αρνητικό κέρδος (δηλαδή αναστροφή της τάσης) που εισάγεται στον αναστρέφων ενισχυτή, χρησιμοποιείται συχνά ο μη αναστρέφων ενισχυτής (non-inverting amplifier). Ένας τυπικός μη αναστρέφων ενισχυτής είναι αυτός του ακόλουθου σχήματος.



*Εικόνα 13: Κύκλωμα μη αναστρέφων ενισχυτή*

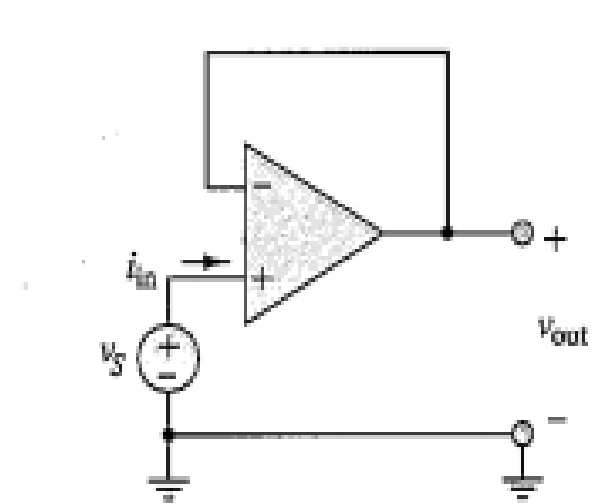
Το κέρδος κλειστού βρόγχου ενός μη αναστρέφων ενισχυτή, δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{v_{\text{out}}}{v_S} = 1 + \frac{R_F}{R_S}$$

Είναι εμφανές πως το κέρδος του συγκεκριμένου ενισχυτή είναι πάντα μεγαλύτερο (ή και ίσο) της μονάδας.

### 3.2.4) Ακόλουθος Τάσης

Η ονομασία ακόλουθος τάσης δικαιολογείται από την ικανότητα της εξόδου του κυκλώματος να ακολουθεί με ακρίβεια την τάση εισόδου. Για να υπολογίσουμε την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή, θα πρέπει να προσέξουμε ότι το ρεύμα εισόδου είναι μηδενικό.

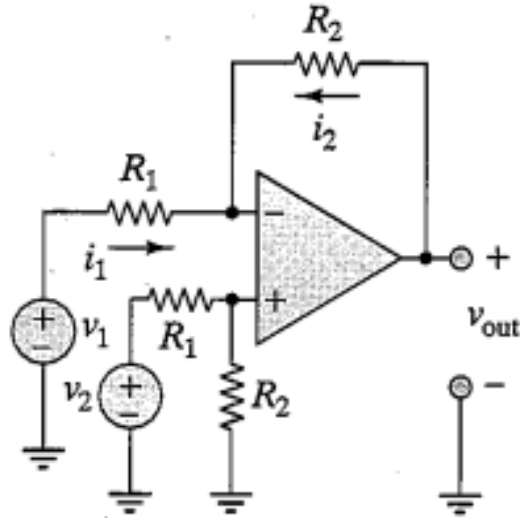


*Εικόνα 14: Κύκλωμα ακολουθητή τάσης*

Η αντίσταση εισόδου του ακολουθητή τάσης είναι η σημαντικότερη ιδιότητα του συγκεκριμένου ενισχυτή: η πάρα πολύ υψηλή τιμή αντίστασης εισόδου, της τάξης των πολλών ΜΩ έως και GΩ, επιτρέπει την τέλεια απομόνωση μεταξύ της πηγής και του φορτίου εξόδου. Οι ακόλουθοι τάσης ή απλούστερα, μονωτές (buffers), συσκευάζονται συνήθως ανά τέσσερις ή περισσότεροι στα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

### 3.3) Ο Διαφορικός Ενισχυτής

Ο διαφορικός ενισχυτής αποτελεί ένα συνδυασμό του αναστρέφοντος και του μη αναστρέφοντος ενισχυτή. Ο ενισχυτής αυτός βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου η διαφορά μεταξύ δυο σημάτων πρέπει να ενισχυθεί. Το κύκλωμά του παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 15: Κύκλωμα διαφορικού ενισχυτή

Το κέρδος κλειστού βρόγχου ενός διαφορικού ενισχυτή, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$v_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

Συνεπώς, ο διαφορικός ενισχυτής ενισχύει τη διαφορά των δυο τάσεων εισόδου με το κέρδος κλειστού βρόγχου που είναι  $R_2/R_1$ .

Στην πράξη, είναι συχνά αναγκαίο να ενισχυθεί η διαφορά μεταξύ δυο σημάτων που αλλοιώνονται από το θόρυβο ή από κάποια άλλη μορφή παρεμβολής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η χρήση του διαφορικού ενισχυτή είναι η καλύτερη καθώς καταφέρνει και ενισχύει το επιθυμητό σήμα, απομονώνοντάς το παράλληλα από τις εξωτερικές παρεμβολές. Μια χαρακτηριστική εφαρμογή του διαφορικού ενισχυτή αποτελεί ο "ενισχυτής ηλεκτροκαρδιογραφημάτων – EKG", ο οποίος θα αναλυθεί στις ακόλουθες ενότητες.

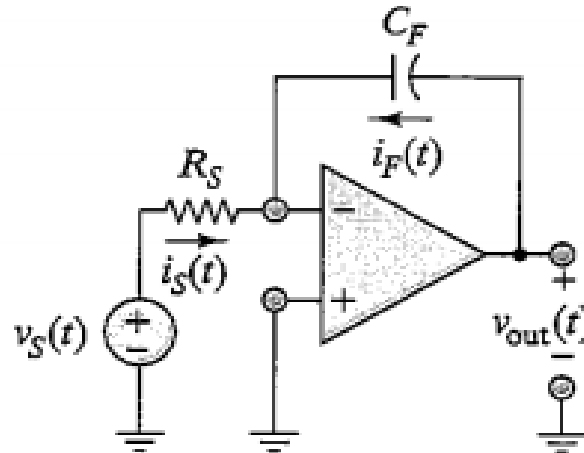
## 3.4) Τελεστικοί Ενισχυτές με μη ημιτονοειδής Εισόδους

Στις προηγούμενες ενότητες είδαμε την απόκριση συχνότητας κυκλωμάτων τελεστικών ενισχυτών για ημιτονοειδής εισόδους. Ωστόσο, ορισμένα κυκλώματα τελεστικών ενισχυτών που περιλαμβάνουν στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας, αποκαλύπτουν μερικές από τις γενικότερες ιδιότητές τους εάν αναλύσουμε την απόκρισή τους σε εισόδους που δεν είναι ημιτονοειδής. Μεταξύ των κυκλωμάτων αυτών είναι ο ολοκληρωτής και ο διαφοριστής. Μια

σύνομη εξήγηση της λειτουργίας των κυκλωμάτων αυτών βρίσκεται στις ακόλουθες παραγράφους.

### 3.4.1) Ο Ολοκληρωτής

Το κύκλωμα του ολοκληρωτή είναι αυτό του ακόλουθου σχήματος:



**Εικόνα 16: Κύκλωμα Ολοκληρωτή**

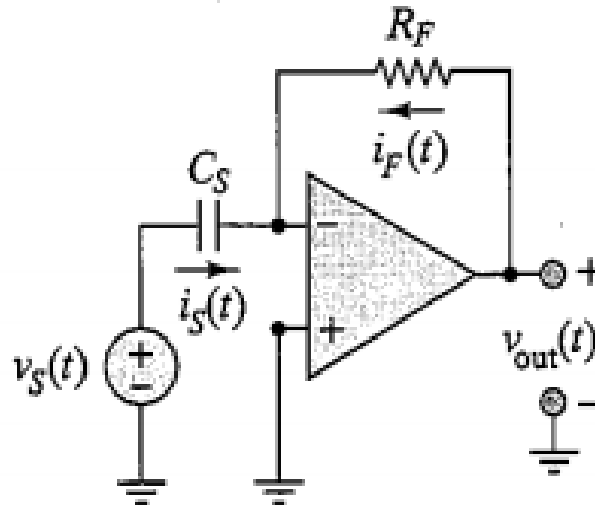
Η είσοδος  $v_S(t)$  είναι μια αυθαίρετη συνάρτηση του χρόνου (π.χ. μια σειρά παλμών, μια τριγωνική κυματομορφή ή μια τετραγωνική κυματομορφή). Η έξοδος του κυκλώματος είναι ανάλογη του ολοκληρώματος  $v_S(t)$ . Από την ανάλυση του κυκλώματος, προκύπτει πως η έξοδος του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$v_{out}(t) = -\frac{1}{R_S C_F} \int_{-\infty}^t v_S(t') dt'$$

Δηλαδή, η έξοδος είναι ίση με το ολοκλήρωμα της τάσης εισόδου. Υπάρχουν πολυάριθμες εφαρμογές του τελεστικού ενισχυτή, ειδικότερα στους αναλογικούς υπολογιστές.

### 3.4.2) Ο Διαφοριστής

Χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα παρόμοιο με αυτό του ολοκληρωτή, μπορούμε να έχουμε έναν διαφοριστή, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 17: Κύκλωμα Διαφοριστή

Εδώ, η σχέση μεταξύ εισόδου και εξόδου προκύπτει:

$$v_{\text{out}}(t) = -R_F C_S \frac{dv_S(t)}{dt}$$

Δηλαδή, η έξοδος του διαφοριστή είναι ανάλογη προς την παράγωγο της εισόδου. Η ιδιότητα διαφόρισης που εμφανίζει το συγκεκριμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται στην πράξη σπάνια γιατί η διαφόριση ενισχύει τον θόρυβο που συνοδεύει τα διάφορα σήματα.

## 3.5) Επεξεργασία Σήματος

Μετά την λήψη των φυσιολογικών παραμέτρων και την μετατροπή τους όπως εξηγήθηκε στις προηγούμενες ενότητες, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία του σήματος ώστε αυτό να αποκτήσει διαγνωστική αξία για τον θεράποντα επιστήμονα.

Για την επεξεργασία του σήματος απαιτείται η χρήση μονάδας ηλεκτρονικού υπολογιστή και των περιφερειακών αυτού, για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Η εξέλιξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας έχει φέρει τεράστιες αλλαγές στην ιατρική όσον αφορά τις δυνατότητες στη διάγνωση, στην ταχύτητα επεξεργασίας και στο κόστος της ιατρικής πράξης.



Ως σήμερα, οι εταιρείες ανάπτυξης βιοϊατρικής τεχνολογίας έχουν εκμεταλλευτεί πλήρως και τις πέντε γενεές των υπολογιστών όπως αυτές έχουν ιστορικά εξελιχθεί. (Λυχνίες κενού, τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα, μικροεπεξεργαστές και τεχνητή νοημοσύνη).

Εκτός των γενεών των υπολογιστικών συστημάτων πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη και η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος η οποία διπλασιάζεται περίπου κάθε δύο έτη με αποτέλεσμα την εκθετική πλέον μείωση του κόστους της νέας τεχνολογίας, των χωροταξικών απαιτήσεων και της ισχύος κατανάλωσης.



**Εικόνα 18:** Αριστερά: IBM, μονάδα μνήμης 5 MB (1956) — Δεξιά: 2cm, Micro SD Card 128 GB (2017)

Ιστορικά, τα ιατρικά μηχανήματα εμπεριείχαν σύστημα υπολογιστή ειδικά κατασκευασμένο για την συγκεκριμένη χρήση για την επεξεργασία και απεικόνιση των αποτελεσμάτων ενώ η εξέλιξη της τεχνολογίας ώθησε τους κατασκευαστές στη χρήση σύγχρονων υπολογιστών (PC) και σύγχρονων λογισμικών λειτουργίας (Windows) με ιατρικές εφαρμογές ανάλογες με τις απαιτήσεις για την επίτευξη του ιατρικού στόχου.

Μονάδες κοινών υπολογιστών και λειτουργικών βρίσκονται σήμερα σε ένα σύγχρονο νοσοκομείο από τον απλό μαιευτικό υπέρηχο έως τον μαγνητικό τομογράφο.

Εκτός από τον τομέα της διάγνωσης (και της θεραπείας) η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει φέρει επανάσταση και στον τρόπο εκτέλεσης και παρακολούθησης των ιατρικών πράξεων χωρίς να έχουν απ' ευθείας σχέση με τον ασθενή.

Τα συστήματα αρχειοθέτησης και μεταφοράς διαγνωστικών εικόνων (PACS) απαλλάσσουν την από την χρήση ανθυγιεινών και οικολογικά βλαβερών μονάδων χημικής επεξεργασίας εικόνων, απλουστεύουν την διάγνωση με εργαλεία επεξεργασίας εικόνας (post-processing), απαλλάσσουν τον ασθενή από το να προσκομίζει παλαιότερες εξετάσεις προς σύγκριση στον θεράποντα ιατρό, μειώνουν δραματικά τον απαιτούμενο χώρο διατήρησης ιατρικού αρχείου. Δίνουν δυνατότητα ανταλλαγής ιατρικών δεδομένων μεταξύ νοσηλευτικών ιδρυμάτων όταν απαιτείται και μειώνουν δραστικά την πιθανότητα ιατρικού λάθους.

Η κατανόηση της σπουδαιότητας της εξέλιξης αυτής ανάγκασε τους κατασκευαστές των ιατρικών μηχανημάτων να συνεργαστούν χωρίς στοιχεία ανταγωνισμού και επικράτησης και να αναπτύξουν πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των διαγνωστικών μονάδων ώστε να υπάρχει πλήρης συμβατότητα δεδομένων (DICOM).

Η χρήση υπολογιστών στην σύγχρονη βιοϊατρική τεχνολογία, ιατρική και νοσοκομειακή λειτουργία εξελίσσεται διαρκώς με αποτέλεσμα πολλές εκπαιδευτικές μονάδες προβλέποντας τις απαιτήσεις του μέλλοντος να δημιουργούν προγράμματα ανώτερης και ανώτατης εκπαίδευσης στην ιατρική πληροφορική. Ακριβώς όπως τριάντα περίπου χρόνια πριν δημιουργήθηκαν αντίστοιχα τα τμήματα βιοϊατρικής τεχνολογίας και κλινικής μηχανικής.

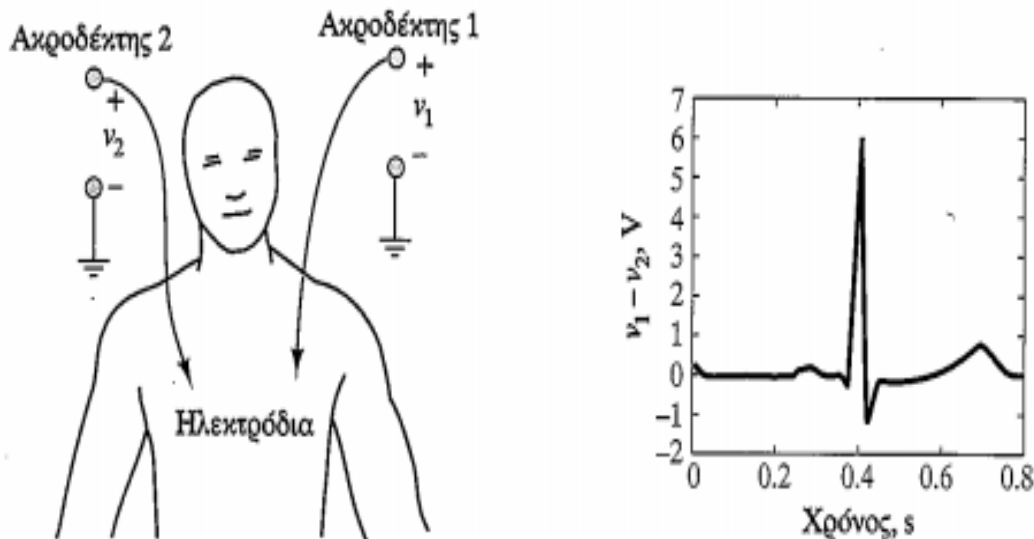
# 4<sup>η</sup> Ενότητα – Διαγνωστικά Μηχανήματα

## 4.1) Ηλεκτροκαρδιογράφος (ΕΚΓ)

Η ανθρώπινη καρδιά ευθύνεται για την κυκλοφορία του αίματος από και προς τους πνεύμονες και από και προς τα όργανα και τους ιστούς για την θρέψη και οξυγόνωσή τους. Αποτελείται από μυϊκό ιστό που διεγείρεται ώστε να συστέλλεται και να διαστέλλεται με ηλεκτρικούς παλμούς που παράγονται από το σημείο της καρδιάς που λέγεται βηματοδότης.

Ο ηλεκτροκαρδιογράφος χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς η οποία εξάγει συμπεράσματα για την ομαλή λειτουργία της ή τον πρώτο εντοπισμό της μη φυσιολογικής λειτουργίας και του είδους της πάθησης.

Η καρδιακή κυματομορφή (εικόνα 17α) δίνεται από τη διαφορά μεταξύ των δυναμικών που μετρούνται από δυο ηλεκτρόδια κατάλληλα τοποθετημένα στο στήθος του ασθενούς, όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα (εικόνα 17β).



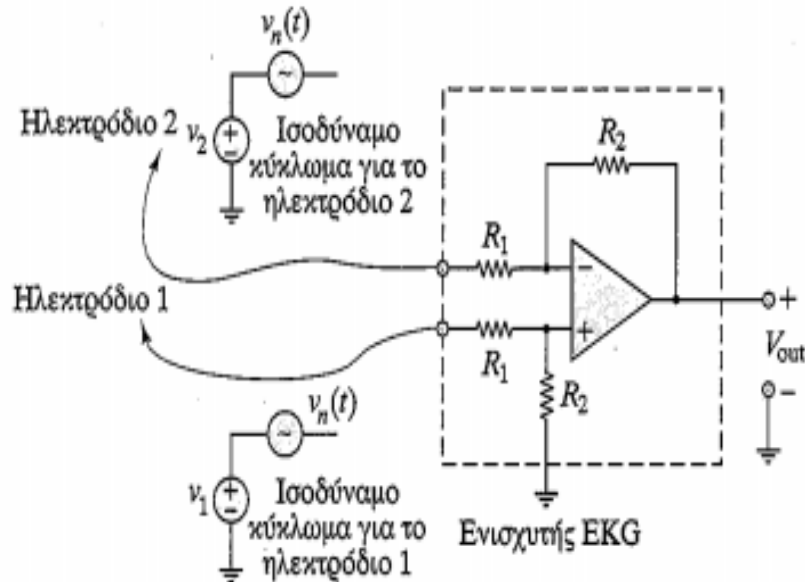
Εικόνα 19: α) Ηλεκτροκαρδιογράφος δυο ακροδεκτών

β) Καρδιακή κυματομορφή

Η παρουσία ηλεκτρικών συσκευών που τροφοδοτούνται από το δίκτυο ισχύος προκαλεί ανεπιθύμητη παρεμβολή στο ασθενές σήμα του καρδιογράφου (~1mV) καθώς τα καλώδια των ηλεκτροδίων λειτουργούν σαν κεραίες που λαμβάνουν, εκτός από την επιθυμητή καρδιακή τάση και θόρυβο προερχόμενο από τα 50 Hz του δικτύου.

Το σήμα παρεμβολής είναι περίπου ίδιο στους δυο ακροδέκτες και έτσι τα ηλεκτρόδια επιλέγονται έτσι ώστε να έχουν σχεδόν το ίδιο μήκος, ίδια αντίσταση και να είναι κοντά το ένα στο άλλο. Επιπλέον, ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται το σήμα παρεμβολής είναι ο ίδιος και για τους δυο ακροδέκτες, επομένως κατανέμεται ισόποσα σε αυτούς.

Στην απλούστερη του μορφή ο διαφορικός ενισχυτής (ακόλουθο σχήμα) που περιλαμβάνει ένας ηλεκτροκαρδιογράφος μηδενίζει το κοινό σήμα της παρεμβολής ενώ παράλληλα ενισχύει την επιθυμητή κυματομορφή του ΗΚΓ.



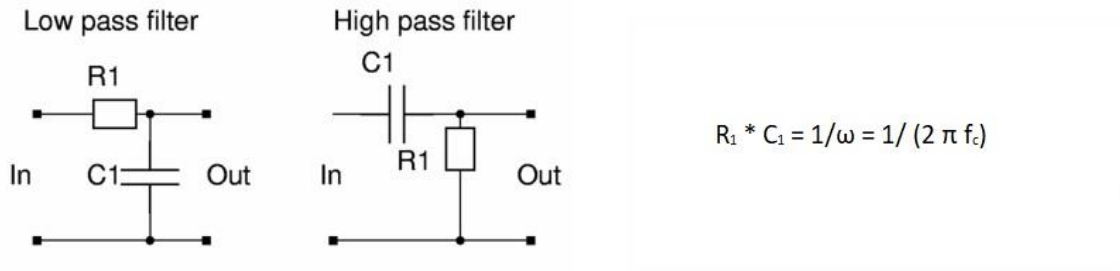
**Εικόνα 20: Κύκλωμα λειτουργίας Ηλεκτροκαρδιογράφου**

Επιπροσθέτως χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένες διατάξεις ηλεκτρονικών φίλτρων:

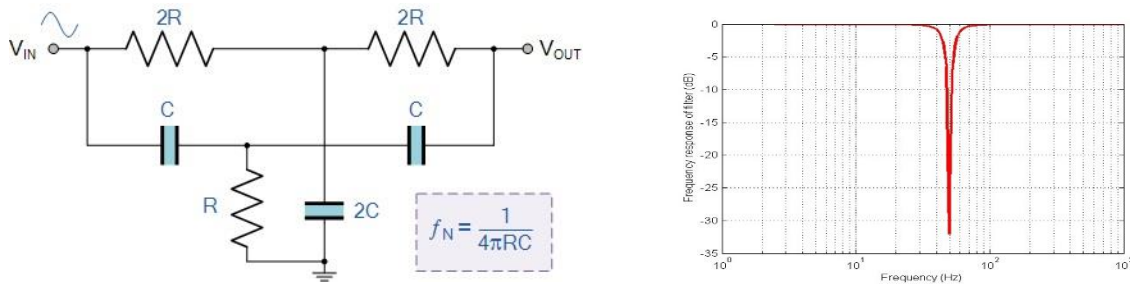
- Φίλτρο υψηλής διέλευσης, για την αφαίρεση σταθερής συνιστώσας τάσης (dc)
- Φίλτρο χαμηλής διέλευσης, για την αφαίρεση θορύβου άνω των 200Hz για το θόρυβο που προκαλείται από μυϊκή ηλεκτρική δραστηριότητα και
- Φίλτρο αποκοπής 50Hz.

Η πιο απλή σχεδίαση των παθητικών φίλτρων (passive) αποτελείται από συνδυασμό αντιστάσεων και πυκνωτών ενώ σε πλέον πολύπλοκη σχεδίαση χρησιμοποιούνται ενεργητικά φίλτρα (active) αποτελούμενα από τελεστικούς ενισχυτές ή ολοκληρωμένα κυκλώματα.

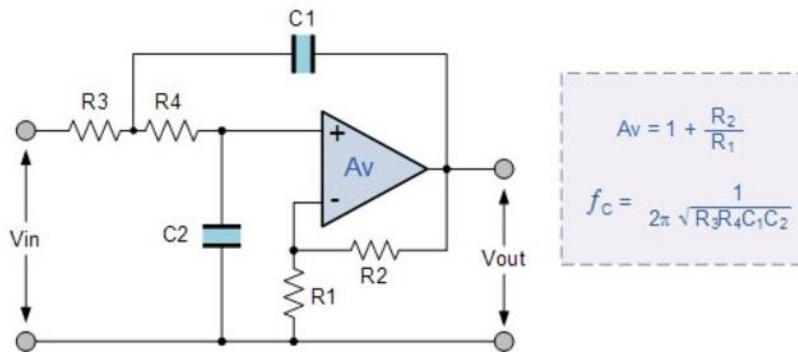
Τα παθητικά φίλτρα υπερτερούν στην απλότητα της σχεδίασης ενώ τα ενεργητικά δεν επηρεάζουν την πηγή του σήματος προσφέρουν ενίσχυση και καλύτερη απόκριση συχνότητας.



**Εικόνα 20 - Παθητικά φίλτρα πρώτου βαθμού χαμηλής και υψηλής διέλευσης συχνότητας**



**Εικόνα 21 - Παθητικό φίλτρο αποκοπής συχνότητας**



**Εικόνα 22 - Ενεργητικό φίλτρο χαμηλής διέλευσης συχνότητας**

Οι σύγχρονοι ηλεκτροκαρδιογράφοι είναι φορητοί, περιλαμβάνουν οθόνη απεικόνισης του EKG, δεν εκκινούν την καταγραφή εάν το σήμα δεν είναι απαλλαγμένο από κάθε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο και με την χρήση μικροεπεξεργαστών κάνουν αναγνώριση του σήματος και σύγκριση με φυσιολογικές τιμές έτσι ώστε να παρέχουν στον μη ειδικευμένο ιατρό μία πρώτη διάγνωση για την καρδιολογική εικόνα του εξεταζόμενου.

## 4.2) Πυρηνική Ιατρική

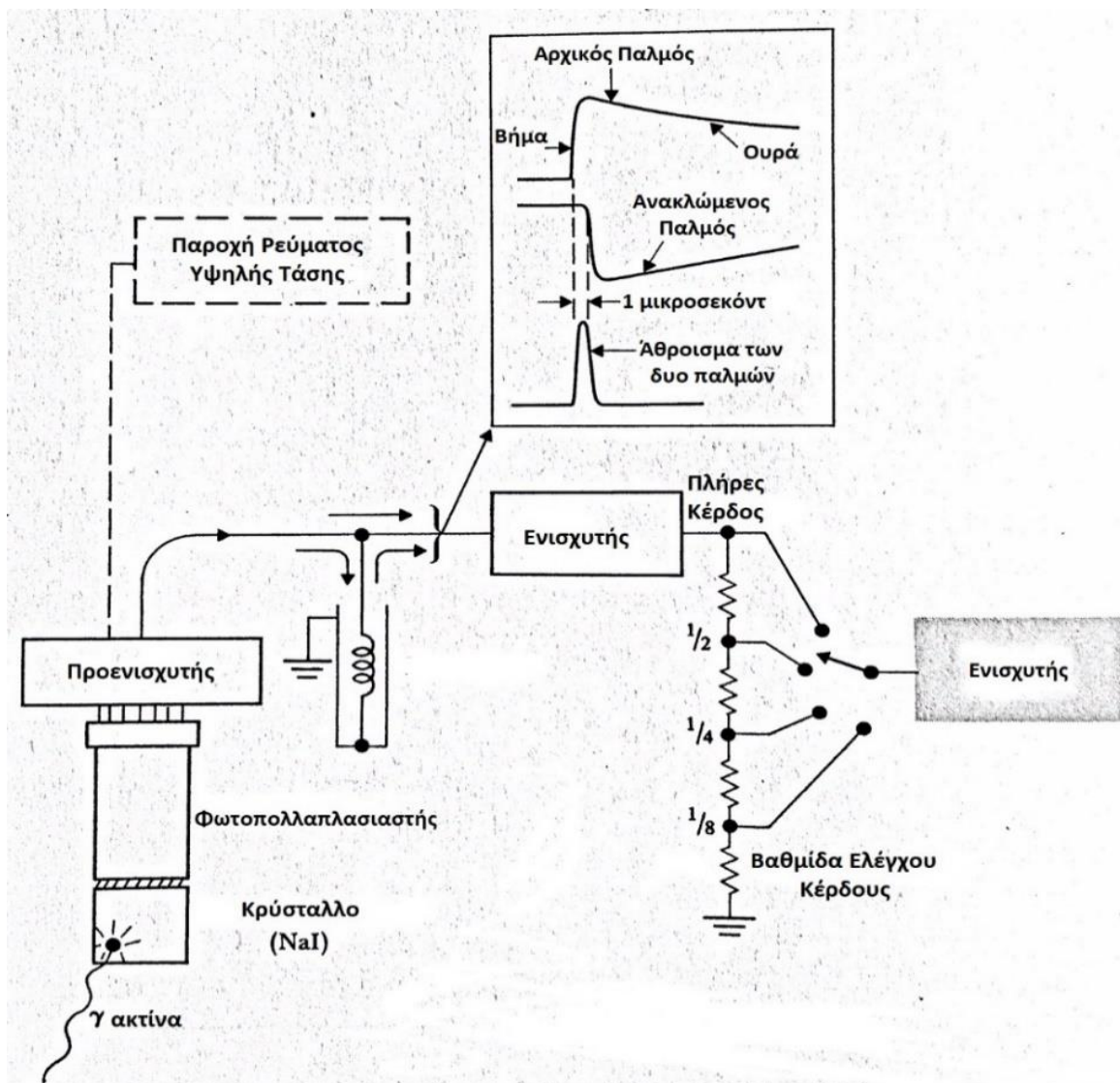
---

Η πυρηνική ιατρική είναι ένα σύγχρονο παρακλάδι της Ιατρικής το οποίο χρησιμοποιεί ραδιενεργά στοιχεία, σε μικρές ποσότητες, για διαγνωστικούς αλλά και για θεραπευτικούς λόγους. Οι ιατρικές εξετάσεις οι οποίες γίνονται με αυτή τη μέθοδο είναι γνωστές ως σπινθηρογραφήματα.

Στις διαδικασίες της Πυρηνικής Ιατρικής, τα ραδιονουκλεΐδια συνδυάζονται με άλλα χημικά στοιχεία, για να δημιουργήσουν χημικές ενώσεις, ή αλλιώς συνδυάζονται με ήδη υπάρχουσες φαρμακευτικές ενώσεις, για να σχηματίσουν ραδιοφάρμακα. Αυτά τα ραδιοφάρμακα, όταν ληφθούν από τον ασθενή, απελευθερώνουν τη δράση τους στοχευμένα, σε συγκεκριμένα όργανα ή συγκεκριμένους κυτταρικούς υποδοχείς. Αυτή η ιδιότητα των ραδιοφαρμάκων επιτρέπει στην Πυρηνική Ιατρική να απεικονίζει την έκταση μίας ασθένειας στο ανθρώπινο σώμα, βασιζόμενη στην κυτταρική λειτουργία και τη φυσιολογία, αντί να βασίζεται στις φυσικές αλλαγές της ανατομίας των ιστών. Σε μερικές ασθένειες, οι μελέτες της Πυρηνικής Ιατρικής μπορούν να εντοπίσουν ιατρικά προβλήματα πολύ νωρίτερα από άλλες διαγνωστικές μεθόδους. Κατά μία έννοια, η Πυρηνική Ιατρική είναι μία «εσωτερική ακτινογραφία», γιατί καταγράφει την ακτινοβολία που εκπέμπεται μέσα από το σώμα και όχι την ακτινοβολία που παράγεται από εξωτερικές πηγές, όπως οι ακτίνες-Χ.

Το κοινό στοιχείο σε όλα τα διαγνωστικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική είναι ο ανιχνευτής ιωδιούχου νατρίου, όπως φαίνεται στο σχήμα της ακόλουθης σελίδας (εικόνα 18). Ο ανιχνευτής αποτελείται από 3 κυρίως μέρη: α) το κρύσταλλο, το οποίο σπινθηροβολείται από μπλε φως σε γραμμική αναλογία με τις απώλειες ενέργειας που έχει μια ακτίνα γ σε αυτό, β) έναν φωτοπολλαπλασιαστή, ο οποίος μετατρέπει αυτό το φως σε ένα ηλεκτρικό σήμα και τέλος γ) τα ηλεκτρονικά συστήματα υποστήριξης, τα οποία ενισχύουν και μετατρέπουν το ηλεκτρικό σήμα αυτό σε κάποια ευανάγνωστη μορφή.

Οι απλούστερες εξετάσεις στην πυρηνική ιατρική δεν περιλαμβάνουν καθόλου απεικονιστικά συστήματα. Αντιθέτως, χρησιμοποιούν έναν ανιχνευτή, ο οποίος τοποθετείται στην επιφάνεια του σώματος του ασθενή και καταγράφει τη ροή ακτινών γ. Το πρώτο διαγνωστικό μηχανήμα που χρησιμοποιήθηκε στην πυρηνική ιατρική, αποτελούνταν μονάχα από έναν απλό ανιχνευτή, τον οποίο μετακινούσε, σε όλη την επιφάνεια του σώματος του ασθενή, ο χρήστης.



Εικόνα 23: Ανιχνευτής Ιωδιούχου Νατρίου

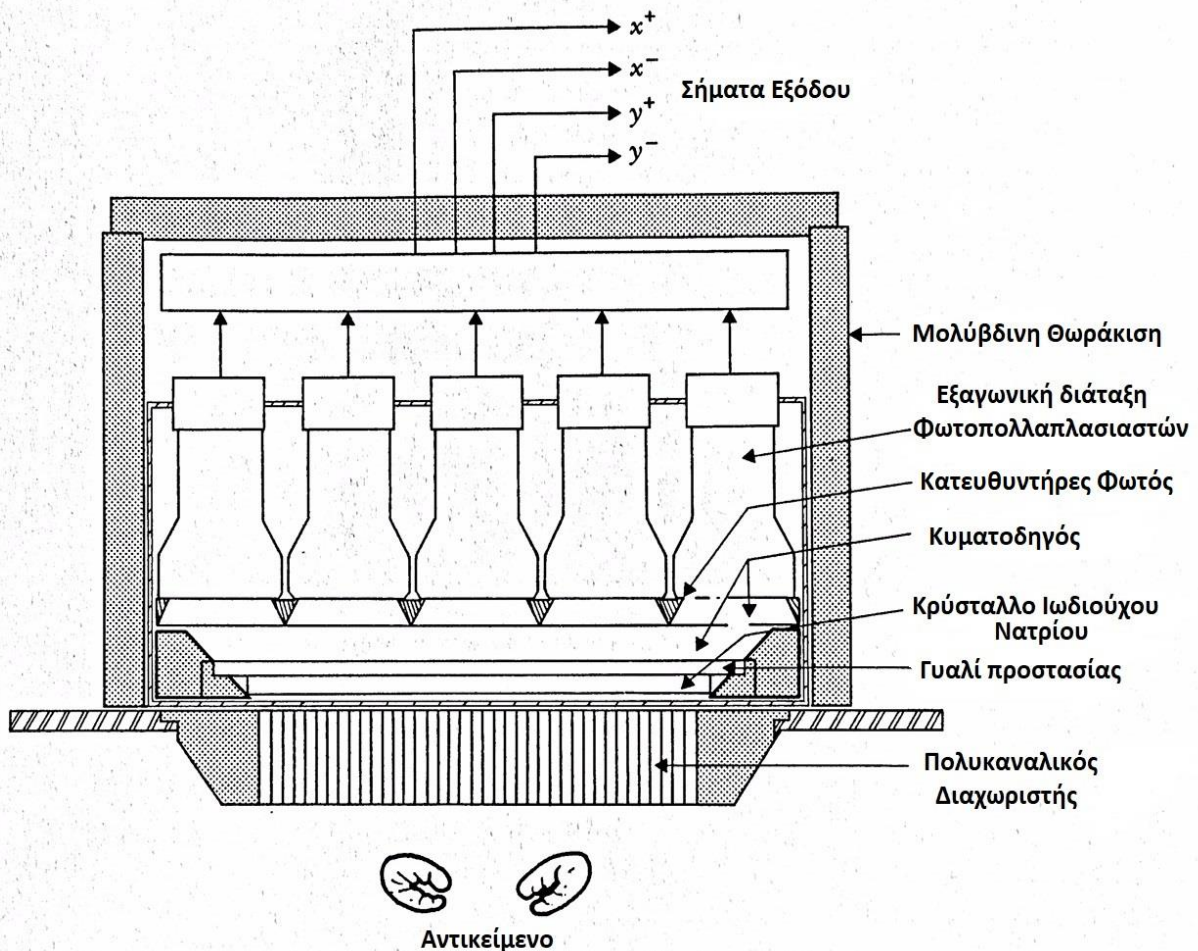
Ένα δεύτερο είδος διαγνωστικού μηχανήματος της πυρηνικής ιατρικής, είναι η κάμερα γάμμα (gamma camera). Η κάμερα αυτή είναι ένα στατικό απεικονιστικό μηχάνημα το οποίο είναι ευαίσθητο στην ραδιενέργεια. Η λειτουργία του δεν βασίζεται στη κίνηση κάποιου ανιχνευτή ώστε να δείξει κάποια εικόνα.

Στην ακόλουθη εικόνα (εικόνα 19) απεικονίζεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα μιας κάμερας γ. Ο ανιχνευτής ραδιενέργειας είναι ένα κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου με διάμετρο 30 cm έως 40 cm και πάχος 1,2 cm. Αυτός ο ανιχνευτής παρακολουθεί ταυτόχρονα μια συστοιχία φωτοπολλαπλασιαστών σε εξαγωνικό σχήμα, οι οποίοι βρίσκονται στο πίσω μέρος του ανιχνευτή. Η θεμελιώδης αρχή λειτουργίας μιας κάμερας γ είναι πως το ποσοστό του φωτός που απορροφά ο κάθε φωτοπολλαπλασιαστής, καθορίζει με ακρίβεια το σημείο εισόδου της



ακτίνας  $\gamma$  στο κρύσταλλο. Οι τάσεις που αντιστοιχούν στις συντεταγμένες  $x$  και  $y$  και που δείχνει η κάμερα, προκύπτουν από τα σήματα που στέλνουν οι φωτοπολλαπλασιαστές. Η θέση του κρυστάλλου βρίσκεται στη θέση  $x=0, y=0$ .

Παραδείγματος χάρη, ένας φωτοπολλαπλασιαστής του οποίου η θέση είναι  $+x$ , πολύ μακριά από το  $x=0$  και  $y=y_0=0$ , τότε θα είχε κέρδη ενίσχυσης στην έξοδο τέτοια ώστε το σήμα στην έξοδο του φωτοπολλαπλασιαστή να είναι ένα σήμα  $+x$  πολύ υψηλό σε σχέση με το σήμα  $-x$  ενώ τα σήματα  $+y$  και  $-y$  θα ήταν τα ίδια. Μια εικόνα μπορεί να καταγραφεί τόσο σε ψηφιακή όσο και σε αναλογική μορφή. Στην αναλογική μορφή, τα σήματα  $-x, +x, -y, +y$  καταγράφονται μέσω ενός απλού παλμογράφου.



**Εικόνα 24 – Πρόοψη μιας Κάμερας  $\gamma$**

Η λειτουργία μιας κάμερας  $\gamma$  ξεκινά από τον πολυκαναλικό διαχωριστή, ο οποίος κατευθύνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία στο κρύσταλλο (σπινθηριστή), όπου προσπίπτουν τα φωτόνια και παράγονται σπινθηρισμοί στο σημείο προσκρούσης. Η ένταση των σπινθηρισμών είναι ανάλογη του αριθμού των φωτονίων που προσπίπτουν στο κρύσταλλο. Στη συνέχεια, η φωτοκάθοδος των φωτοπολλαπλασιαστών βρίσκεται σε οπτική επαφή με τον κρύσταλλο και με τη βοήθεια του κυματοδηγού και των κατευθυντήρων φωτός, δίνουν τις συντεταγμένες

( $x, y$ ) της θέσης του κάθε σπινθηρισμού που παράγεται στο κρύσταλλο. Έτσι δημιουργείται ένα αποτύπωμα των σπινθηρισμών, το οποίο περιγράφει την κατανομή της ιοντίζουσας ακτινοβολίας του υπό μελέτη δείγματος.

## 4.3) Υπερηχογράφημα

---

Οι ιστοί και οι δομές του ανθρώπινου οργανισμού θεωρούνται καλοί αγωγοί των ηχητικών κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η αγωγιμότητα είναι τέτοια ώστε ένα ηχητικό κύμα, η αρχική ένταση του οποίου θεωρείται βιολογικά ασφαλής, μπορεί και είναι ακόμα ανιχνεύσιμο αφότου έχει ταξιδέψει μια απόσταση 20 με 30 cm στον ανθρώπινο ιστό. Ένα ηχητικό κύμα υψηλής συχνότητας είναι ένας αρκετά καλός ανιχνευτής της δομής του ανθρώπινου σώματος. Δομές των οποίων η διάσταση δεν ξεπερνάει το 1 χιλιοστό (mm) μπορούν να παρασταθούν με τη χρήση κυμάτων, συχνότητας αρκετών MHz. Αυτά τα κύματα υψηλής συχνότητας, είναι γνωστά ως υπερηχητικά κύματα.

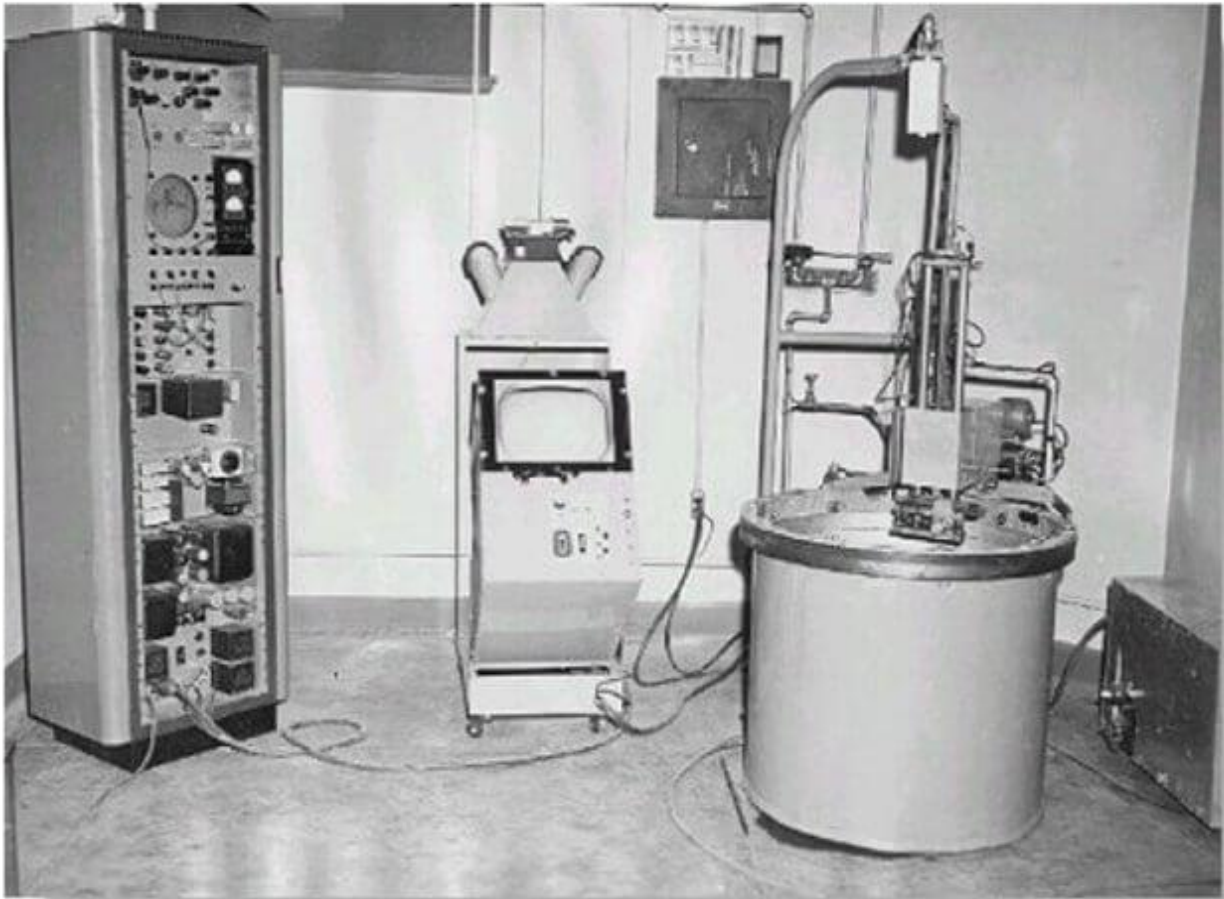
Ο ιατρικός υπερηχογράφος (επίσης γνωστός ως διαγνωστική ηχογραφία ή υπερηχογράφημα) είναι μια τεχνική διαγνωστικής απεικόνισης βασισμένη στην εφαρμογή υπερήχων. Χρησιμοποιείται για την προβολή των εσωτερικών δομών του ανθρώπινου σώματος, όπως οι μυς, οι τένοντες, οι αρθρώσεις και τα όργανα.

Ο υπέρηχος είναι τα ηχητικά κύματα με συχνότητες υψηλότερες από αυτές που είναι αντιληπτές στον άνθρωπο ( $>20.000$  Hz). Οι υπερηχητικές εικόνες που είναι γνωστές ως ηχογραφήματα, γίνονται με την αποστολή παλμών υπερήχων, στους ιστούς, μέσω ενός ανιχνευτή. Ο ήχος ανακλάται στον ιστό, δημιουργώντας μια ηχώ. Πολλαπλοί ανακλώμενοι ήχοι δημιουργούν τη δική τους ηχώ, οι οποίες καταγράφονται και παρουσιάζονται σε μορφή εικόνας στον χειριστή.

Πολλοί διαφορετικοί τύποι εικόνων μπορούν να σχηματιστούν χρησιμοποιώντας όργανα υπερηχογραφίας. Ο πιο γνωστός τύπος όλων είναι μια εικόνα Β-τύπου (B-mode scanning) η οποία εμφανίζει την ακουστική σύνθετη αντίσταση μιας δισδιάστατης διατομής ιστού. Άλλοι τύποι εικόνων μπορούν να εμφανίσουν τη ροή αίματος, την κίνηση ενός ιστού με την πάροδο του χρόνου, την παρουσία συγκεκριμένων μορίων, τυχών δυσκαμψία κάποιου ιστού ή την ανατομία μιας τρισδιάστατης περιοχής ή οργάνου.

Σε σύγκριση με άλλες εξέχουσες μεθόδους ιατρικής απεικόνισης, ο υπέρηχος έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Παρέχει εικόνες σε πραγματικό χρόνο, η δομή του (του μηχανήματος) είναι

τέτοια που του επιτρέπει πλήρη ελευθερία κινήσεων (είναι φορητός), είναι σημαντικά χαμηλότερος στο κόστος και δεν χρησιμοποιεί επιβλαβή ιονίζουσα ακτινοβολία. Τα μειονεκτήματα της υπερηχογραφίας περιλαμβάνουν διάφορα όρια στο οπτικό πεδίο της, συμπεριλαμβανομένης της συνεργασίας και της σωματικής διάπλασης των ασθενών, των δυσκολιών των δομών απεικόνισης πίσω από τα οστά και τον αέρα και της εξάρτησης από έναν εξειδικευμένο χειριστή.



Εικόνα 25 – Ο πρώτος υπερηχογράφος Β-Τύπου, 1951

Τα τυπικά όργανα υπερηχογραφίας λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων από 1 έως 18 MHz, αν και συχνότητες μέχρι 50 έως 100 MHz έχουν χρησιμοποιηθεί πειραματικά σε μια τεχνική, γνωστή ως βιομικροσκοπία, σε ειδικές περιοχές όπως ο πρόσθιος θάλαμος του ανθρώπινου οφθαλμού. Η επιλογή της συχνότητας είναι μια ανταλλαγή μεταξύ της χωρικής ανάλυσης της εικόνας και του βάθους απεικόνισης: οι χαμηλότερες συχνότητες παράγουν μικρότερη ανάλυση, αλλά η εικόνα είναι βαθύτερη μέσα στο σώμα. Τα ηχητικά κύματα υψηλότερης συχνότητας έχουν μικρότερο μήκος κύματος και έτσι είναι ικανά να ανακλώνται ή να διασκορπίζονται από μικρότερες δομές. Τα ηχητικά κύματα υψηλότερης συχνότητας έχουν

επίσης μεγαλύτερο συντελεστή εξασθένησης και έτσι απορροφώνται ευκολότερα στους ιστούς, περιορίζοντας το βάθος διείσδυσης του ηχητικού κύματος στο σώμα.

Η ηχογραφία (υπερηχογραφία) χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική. Είναι δυνατή η διεξαγωγή τόσο της διάγνωσης όσο και των θεραπευτικών διαδικασιών, χρησιμοποιώντας το υπερηχογράφημα για την καθοδήγηση επεμβατικών διαδικασιών (π.χ. βιοψίες ή παροχέτευση υγρών συλλογών). Οι ηχογράφοι είναι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα που εκτελούν σαρώσεις, οι οποίες τυπικά ερμηνεύονται από τους ίδιους ή από τους ακτινολόγους, από τους γιατρούς που ειδικεύονται στην εφαρμογή και την ερμηνεία μιας ευρείας ποικιλίας ιατρικών μορφών απεικόνισης ή από καρδιολόγους στην περίπτωση υπερηχογραφίας καρδιάς (ηχοκαρδιογραφία). Οι ηχογράφοι χρησιμοποιούν συνήθως έναν αισθητήρα χειρός (μετατροπέας), ο οποίος τοποθετείται απευθείας πάνω στον ασθενή και μετακινείται κατά μήκος της επιφάνειας αυτού.



***Εικόνα 26 – Ένας σύγχρονος υπερηχογράφος***

### Διαδικασία διάγνωσης:

Η δημιουργία μιας εικόνας από τον ήχο πραγματοποιείται σε τρία στάδια: α) παραγωγή ενός ηχητικού κύματος, β) λήψη των δημιουργούμενων ηχών και γ) ερμηνεία.

#### 1. Παραγωγή Ήχου

Ένα ηχητικό κύμα παράγεται από έναν πιεζοηλεκτρικό μετατροπέα εγκλεισμένο σε πλαστικό περίβλημα. Ισχυροί, βραχυπρόθεσμοι ηλεκτρικοί παλμοί από τη μηχανή

υπερήχων μεταφέρουν τον μετατροπέα στην επιθυμητή συχνότητα. Οι συχνότητες μπορούν να είναι οπουδήποτε μεταξύ 1 και 18 MHz. Οι μεταλλικοί μετατροπείς παλαιότερης τεχνολογίας εστίαζαν τη δέσμη τους με τη χρήση φυσικών φακών. Οι πιο σύγχρονοι μετατροπείς χρησιμοποιούν τεχνικές σταδιακής συστοιχίας για να επιτρέψουν στη μηχανή υπερήχων να αλλάξει την κατεύθυνση και το βάθος της εστίασης.

Ο ήχος εστιάζεται είτε από το σχήμα του μορφοτροπέα, από έναν φακό μπροστά από αυτόν, είτε από ένα περίπλοκο σύνολο παλμών ελέγχου από τον σαρωτή υπερήχων (Beamforming). Αυτή η εστίαση παράγει ένα κύμα ηχητικού σχήματος από την όψη του μορφοτροπέα. Το κύμα ταξιδεύει στο σώμα και εστιάζεται στο επιθυμητό βάθος.

Τα υλικά στην πρόσοψη του μορφοτροπέα (σημείο επαφής αυτού με το ανθρώπινο σώμα) επιτρέπουν τον ήχο να μεταδίδεται αποτελεσματικά μέσα στο σώμα (συχνά μια ελαστική επίστρωση). Επιπλέον, τοποθετείται ένα ειδικό διάλυμα με βάση το νερό (ζελέ υπερήχων) μεταξύ του δέρματος του ασθενούς και του καθετήρα. Οι υπέρηχοι ανακλώνται πλήρως από τον αέρα και με αυτό το ζελέ εξασφαλίζεται η είσοδός τους στο εσωτερικό του ανθρώπου.

Το ηχητικό κύμα αντανάκλαται εν μέρει από τα στρώματα μεταξύ διαφορετικών ιστών ή διασκορπίζεται από μικρότερες δομές. Συγκεκριμένα, ο ήχος ανακλάται οπουδήποτε υπάρχει μεταβολή ακουστικής αντίστασης στο σώμα: π.χ. Τα κύτταρα του αίματος στο πλάσμα του αίματος, οι μικρές δομές στα όργανα κ.λπ. Ορισμένες από τις αντανάκλασεις επιστρέφουν στον μορφοτροπέα.

## 2. Λήψη των ηχών

Η επιστροφή του ηχητικού κύματος στον μετατροπέα έχει ως αποτέλεσμα την ίδια διαδικασία με την αποστολή του ηχητικού κύματος, εκτός από την αντίστροφη. Το επαναλαμβανόμενο ηχητικό κύμα δονείται στον μορφοτροπέα και ο μορφοτροπέας μετατρέπει τους κραδασμούς σε ηλεκτρικούς παλμούς που ταξιδεύουν στον υπερηχητικό σαρωτή όπου επεξεργάζονται και μετατρέπονται σε ψηφιακή εικόνα.

## 3. Σχηματισμός της Εικόνας

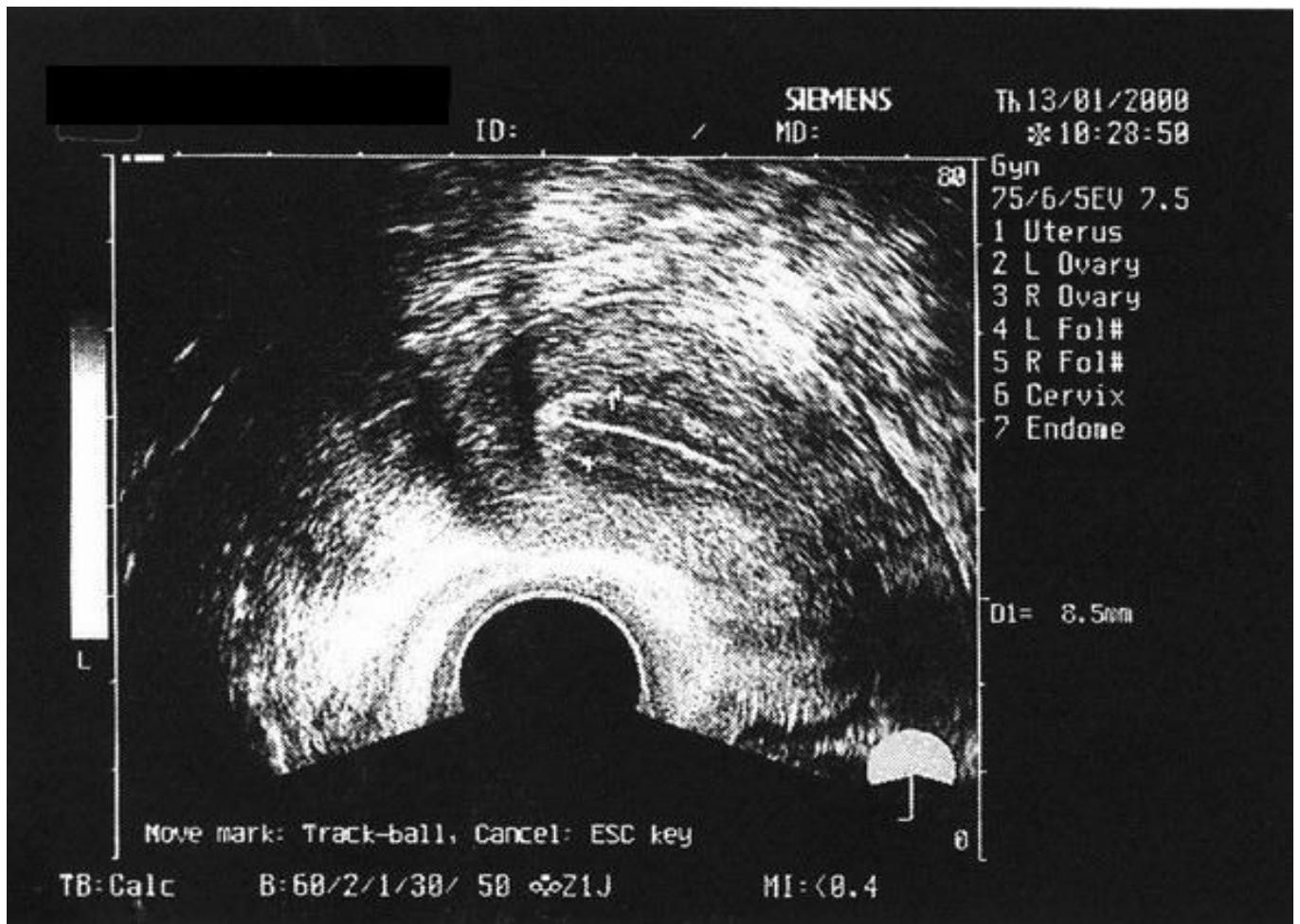
Για να δημιουργηθεί μια εικόνα, ο σαρωτής υπερήχων πρέπει να καθορίσει δύο πράγματα από κάθε ληφθείσα ηχώ: α) το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε για να ληφθεί η ηχώ από τη στιγμή που μεταδόθηκε ο ήχος και β) το πόσο ισχυρή ήταν η ηχώ. Μόλις ο υπερηχητικός σαρωτής καθορίσει αυτά τα δύο πράγματα, μπορεί να εντοπίσει ποιο pixel στην εικόνα θα ανάψει και σε ποια ένταση.

Ο μετασχηματισμός του λαμβανόμενου σήματος σε ψηφιακή εικόνα μπορεί να εξηγηθεί χρησιμοποιώντας ένα κενό υπολογιστικό φύλλο, του excel, ως αναλογία. Έστω πως υπάρχει ένας μορφοτροπέας στην κορυφή του φύλλου αυτού. Ο μορφοτροπέας στέλνει παλμούς κάτω από τις "στήλες" του υπολογιστικού φύλλου (Α, Β, Γ, κλπ.). Έπειτα καταγράφεται η οποιαδήποτε επιστροφή ήχου σε κάποια από αυτές τις στήλες.



Μόλις ακουστεί μια ηχώ, σημειώνεται πόση ώρα χρειάστηκε για να επιστρέψει η ηχώ. Όσο μεγαλύτερη η αναμονή, τόσο βαθύτερη είναι η σειρά (1,2,3 κλπ.). Η αντοχή της ηχούς καθορίζει τη ρύθμιση της φωτεινότητας για αυτό το κελί (pixel – άσπρο για ισχυρή ηχώ, μαύρο για μηδενική ηχώ και ενδιάμεσες αποχρώσεις του γκρι για όλες τις λοιπές εντάσεις). Όταν το σύνολο των ηχών έχει καταγραφεί στο φύλλο, τότε προκύπτει μια εικόνα αποχρώσεων, το υπερηχογράφημα.

Ένα κλασσικό δείγμα υπερηχογραφήματος βρίσκεται στην ακόλουθη εικόνα:

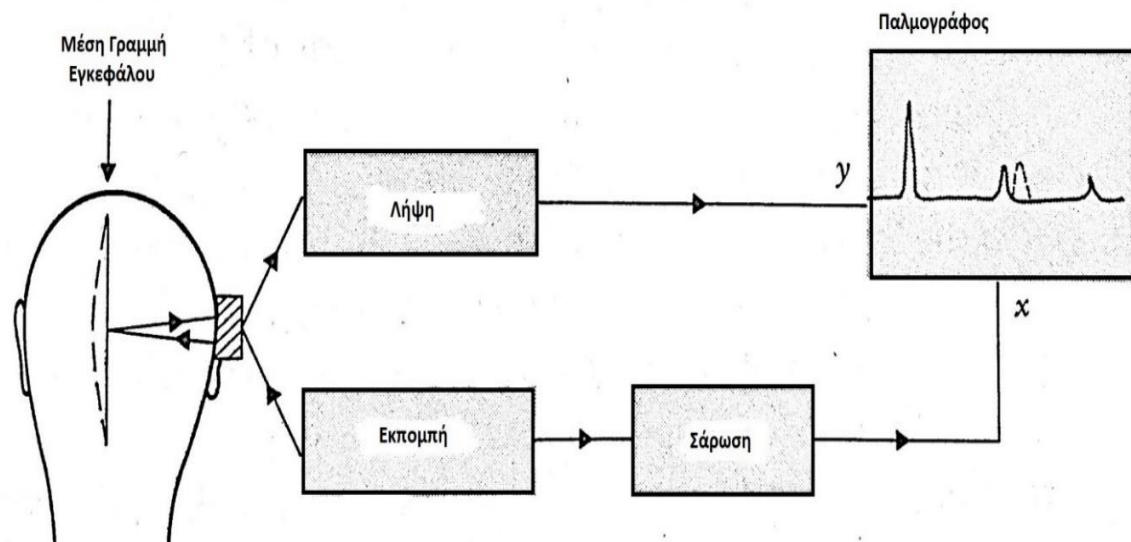


*Εικόνα 27: Υπερηχογραφική εικόνα φυσιολογικής μήτρας*

### Είδη Υπερηχογραφημάτων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπερηχογραφημάτων που χρησιμοποιούνται στην ιατρική διάγνωση. Μερικοί από αυτούς είναι:

- A-mode Scanning (τύπου A): Ο τρόπος αυτός (τρόπος πλάτους) είναι ο απλούστερος τύπος υπερήχων. Ένας μοναδικός μορφοτροπέας σαρώνει κατά μήκος μιας γραμμής και καταγράφει την ανάκλαση των διάφορων ηχών, συναρτήσεως του χρόνου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τρόπου σάρωσης αποτελεί η μέτρηση της θέσης της μέσης γραμμής του εγκεφάλου. Αυτή η ασυνέχεια των ιστών μεταξύ των δύο ημισφαιρίων του εγκεφάλου παρέχει μια άμεσα ανιχνεύσιμη ηχώ. Η μεσαία γραμμή μπορεί να μετατοπιστεί από την κανονική κεντρική θέση της λόγω διάφορων παθολογικών καταστάσεων και η μέτρηση του βάθους της μέσης γραμμής είναι επομένως ένα σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ αυτής της χωρικής θέσης της μέσης γραμμής και της αντίστοιχης ηχούς της.



**Εικόνα 28: Η σάρωση A-τύπου δείχνει την απόσταση και την ανακλαστικότητα των αντικειμένων κατά μήκος της γραμμής σάρωσης.**

Η διακεκομμένη θέση της μέσης γραμμής θα απέδιδε τον διακεκομμένο χρόνο ηχούς (όπως φαίνεται στον παλμογράφο) που μετατοπίστηκε προς μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από τη μεγαλύτερη συνολική απόσταση που διασχίστηκε από τον παλμό ήχου.

- B-mode scanning ή λειτουργία 2D (τύπου B): Σε υπερήχους τύπου B (τρόπος φωτεινότητας), μια γραμμική συστοιχία μετατροπέων ταυτόχρονα σαρώνει ένα επίπεδο μέσα στο σώμα που μπορεί να θεωρηθεί ως μια δισδιάστατη εικόνα στην οθόνη.

- C-mode scanning (τύπου Γ): Μια εικόνα C-mode σχηματίζεται σε ένα κανονικό επίπεδο σε μια εικόνα B-mode. Χρησιμοποιείται μια πύλη που επιλέγει δεδομένα από ένα συγκεκριμένο βάθος από μια γραμμή λειτουργίας A. Τότε ο μορφοτροπέας μετακινείται στο 2D επίπεδο για να δειχθεί ολόκληρη η περιοχή σε αυτό το σταθερό βάθος. Όταν ο μορφοτροπέας διασχίζει την περιοχή σε μια σπείρα, μια περιοχή των  $100 \text{ cm}^2$  μπορεί να σαρωθεί σε περίπου 10 δευτερόλεπτα.
- M-mode Scanning (τύπου M): Σε υπερήχους M-mode (τρόπος κίνησης), οι παλμοί εκπέμπονται με γρήγορη διαδοχή και κάθε φορά, λαμβάνεται μια εικόνα A-mode ή B-mode. Με την πάροδο του χρόνου, αυτό είναι ανάλογο με την καταγραφή ενός βίντεο σε υπερήχους. Καθώς τα όρια οργάνων που παράγουν αντανάκλασεις κινούνται σε σχέση με τον ανιχνευτή, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ταχύτητας συγκεκριμένων δομών οργάνων.
- Τύπου Doppler: Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιεί το φαινόμενο Doppler για τη μέτρηση και την απεικόνιση της ροής αίματος.
- Λειτουργία αντιστροφής παλμού: Σε αυτή τη λειτουργία, δύο διαδοχικοί παλμοί με αντίθετο σήμα εκπέμπονται και στη συνέχεια αφαιρούνται ο ένας από τον άλλο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε γραμμικά αποκρινόμενο συστατικό θα εξαφανιστεί ενώ τα αέρια με μη γραμμική συμπίεστικότητα ξεχωρίζουν.

## 4.4) Αξονική Τομογραφία

---

Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς των εικόνων ακτινών X (X-ray images) είναι ότι αποτελούν μια προβολή πληροφοριών σε μία μόνο κατεύθυνση. Αν υπάρχουν, κατά μήκος της ίδιας διαδρομής δέσμης, περιοχές μικρών και μεγάλων παραλλαγών σε πυκνότητα ηλεκτρονίων, τότε δεν μπορούν να ανιχνευθούν οι μικρές μεταβολές. Ένα παράδειγμα αυτού, είναι η ακτινογραφία θώρακος, στην οποία οι πυκνές οστικές δομές καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη την απόκτηση κάθε πληροφορίας σχετικά με την λιγότερο πυκνή περιοχή που βρίσκεται μεταξύ των πνευμόνων. Η ηλεκτρονική τομογραφία είναι το όνομα που δόθηκε στη διαγνωστική διαδικασία που ακολουθείται για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα.

Μια αξονική τομογραφία χρησιμοποιεί υπολογιστικούς επεξεργασμένους συνδυασμούς πολλών μετρήσεων ακτίνων X που λαμβάνονται από διαφορετικές γωνίες για να παράγουν τομογραφικές εικόνες ειδικών περιοχών ενός σαρωμένου αντικειμένου, επιτρέποντας στον



χρήστη να δει μέσα το αντικείμενο αυτό, χωρίς κοπή. Η επεξεργασία ψηφιακής γεωμετρίας χρησιμοποιείται για την περαιτέρω δημιουργία ενός τρισδιάστατου όγκου του εσωτερικού του αντικειμένου από μια μεγάλη σειρά δισδιάστατων ακτινογραφικών εικόνων που έχουν ληφθεί γύρω από έναν άξονα περιστροφής. Η ιατρική απεικόνιση είναι η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της αξονικής τομογραφίας ακτίνων Χ. Οι διατομεακές αυτές εικόνες χρησιμοποιούνται για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς σε διάφορους ιατρικούς κλάδους.

Ο όρος "υπολογιστική τομογραφία" (Computed Tomography - CT) χρησιμοποιείται συχνά για να αναφέρεται σε CT ακτίνων Χ, επειδή είναι η πιο γνωστή μορφή. Υπάρχουν όμως και πολλοί άλλοι τύποι CT, όπως η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) και η υπολογιστική τομογραφία εκπομπών μεμονωμένων φωτονίων (SPECT). Η υπολογιστική τομογραφία παράγει έναν όγκο δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιδείξουν διάφορες σωματικές δομές βασισμένες στην ικανότητά τους να απορροφούν δέσμες ακτίνων Χ. Παρόλο που, ιστορικά, οι εικόνες που δημιουργήθηκαν ήταν σε αξονικό ή εγκάρσιο επίπεδο, κάθετα προς τον άξονα του ανθρωπίνου σώματος, οι σύγχρονοι σαρωτές επιτρέπουν τον ανασύνθεση αυτού του όγκου δεδομένων σε διάφορα επίπεδα ή ακόμα και ως ογκομετρικές (3D) απεικονίσεις δομών. Παρόλο που είναι πιο συνηθισμένη τεχνική διάγνωσης στην ιατρική, η CT χρησιμοποιείται επίσης σε άλλους τομείς, όπως στην αρχαιολογία, για την απεικόνιση του εσωτερικού αιγυπτιακών σαρκοφάγων.



**Εικόνα 29: Ένας σύγχρονος αξονικός τομογράφος**

## Αξονική τομογραφία και διάγνωση

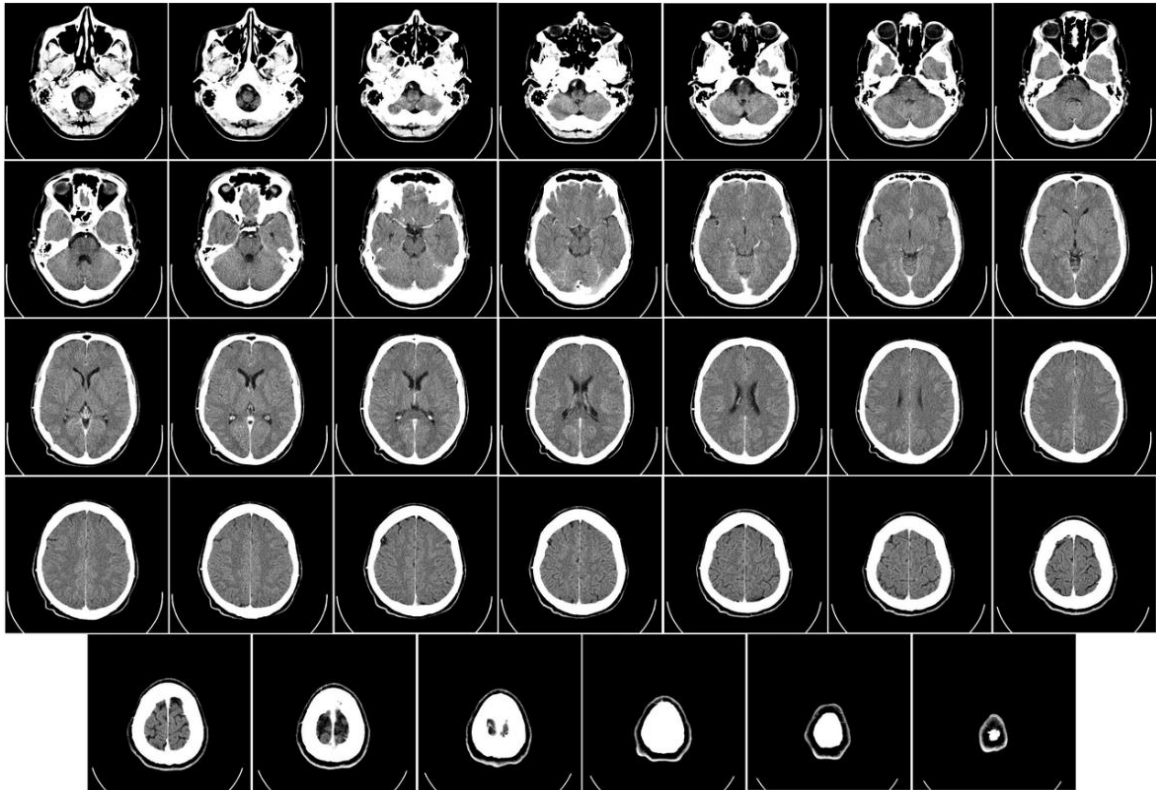
Από την πρώτη παρουσίασή της στη δεκαετία του 1970, η CT έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο στην ιατρική απεικόνιση, για τη συμπλήρωση των ακτίνων X και της ιατρικής υπερηχογραφίας. Σήμερα, ορισμένα ιατρικά ιδρύματα προσφέρουν σαρώσεις που καλύπτουν ολόκληρο το σώμα, μια πρακτική που έρχεται σε αντίθεση με την επίσημη θέση πολλών επαγγελματικών οργανώσεων του τομέα, κυρίως λόγω της δόσης ακτινοβολίας που λαμβάνει ο εξεταζόμενος.



Εικόνα 30: Εικόνα ανιχνευτή CT – Κάτοψη σώματος

Η αξονική τομογραφία χρησιμοποιείται καθημερινά για την απεικόνιση ποικίλων μερών του ανθρωπίνου σώματος, όπως:

- Αξονική Τομογραφία Κεφαλής: Η αξονική τομογραφία της κεφαλής χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση εμφράγματος, όγκων, ασβεστοποιήσεων, αιμορραγίας και τραυματισμού των οστών.



*Εικόνα 31: Αξονική τομογραφία κεφαλής, από τη βάση του κρανίου έως την κορυφή αυτού*

Από τα παραπάνω, οι υποδόριες (σκούρες) δομές μπορεί να υποδεικνύουν οίδημα και έμφραγμα, υπερβολικές (φωτεινές) δομές υποδεικνύουν ασβεστοποιήσεις και αιμορραγία και τραύμα των οστών μπορεί να θεωρηθεί ως διάσπαση στα οστά των οστών. Οι όγκοι μπορούν να ανιχνευθούν από τη διόγκωση και την ανατομική παραμόρφωση που προκαλούν, ή από το περιβάλλον οίδημα. Τα ασθενοφόρα που είναι εφοδιασμένα με σαρωτές CT πολλαπλών τεμαχίων με μικρές οπές ανταποκρίνονται σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν εγκεφαλικό επεισόδιο ή τραύμα κεφαλής. Η αξονική τομογραφία της κεφαλής χρησιμοποιείται επίσης σε στερεοτακτική χειρουργική επέμβαση με καθοδηγούμενη από CT και ραδιοχειρουργική για τη θεραπεία ενδοκρανιακών όγκων, αρτηριοφλεβικών δυσπλασιών και άλλων χειρουργικά κατεργάσιμων καταστάσεων, χρησιμοποιώντας μια συσκευή γνωστή ως N-εντοπιστή.

Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI) της κεφαλής παρέχει ανώτερες πληροφορίες, σε σύγκριση με τις CT ανιχνεύσεις, όταν αναζητούνται πληροφορίες αναφορικά με πονοκεφάλους και ημικρανίες, ώστε να επιβεβαιώσουν τη διάγνωση νεοπλασματος, αγγειακής νόσου, αλλοιώσεων του οπίσθιου κρανιακού οσφυαλγίου, τραχηλικοαγγειακών βλαβών ή ενδοκρανιακών πιέσεων. Επίσης, η συγκεκριμένη τεχνική διάγνωσης, δεν φέρει τους κινδύνους έκθεσης του ασθενούς σε ιοντίζουσα ακτινοβολία. Οι CT εξετάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση κεφαλαλγίας όταν ενδείκνυται η απεικόνιση του νευροαπεικόνισης και η μαγνητική

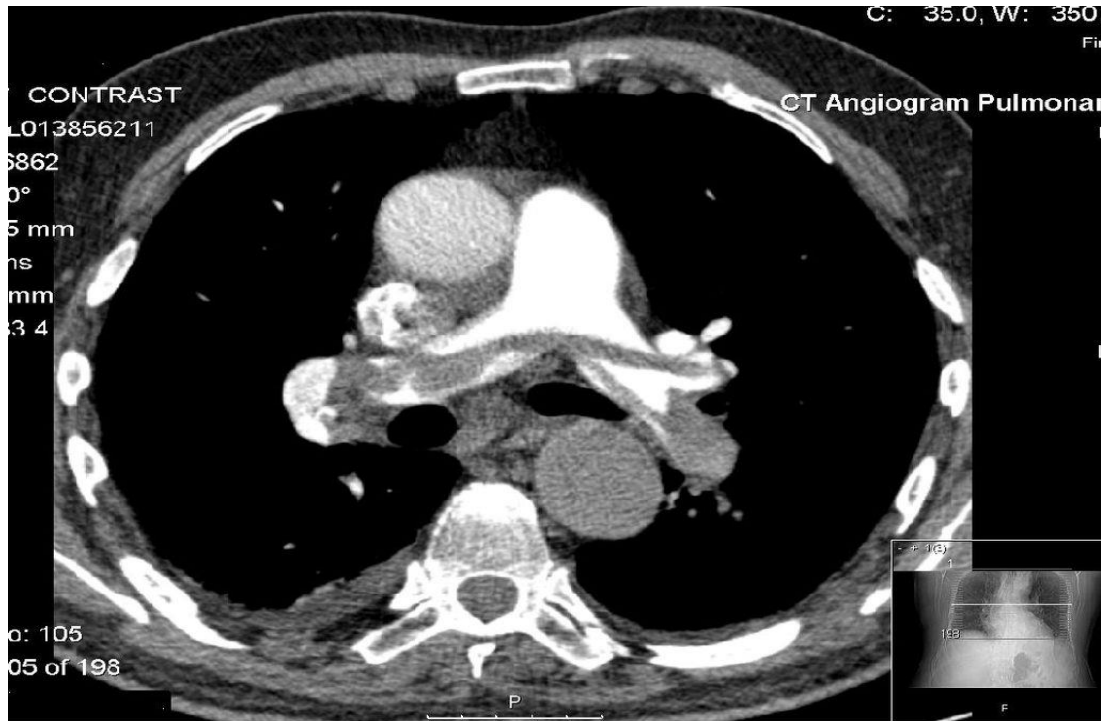
τομογραφία δεν είναι διαθέσιμη ή σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όταν υπάρχει υποψία αιμορραγίας, εγκεφαλικού επεισοδίου ή τραυματικού εγκεφαλικού τραύματος. Ακόμα και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όταν ο τραυματισμός της κεφαλής είναι ήσσονος σημασίας όπως καθορίζεται από την αξιολόγηση ενός ιατρού και βάσει των καθιερωμένων οδηγιών, η CT του κεφαλιού πρέπει να αποφεύγεται.

- Αξονική Τομογραφία Πνεύμονα / Καρδιάς: Η αξονική τομογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση τόσο των οξείων όσο και των χρόνιων μεταβολών στο πνευμονικό παρέγχυμα, δηλαδή στα εσωτερικά του πνεύμονα. Αυτό είναι κάτι ιδιαίτερα σημαντικό, επειδή οι κανονικές διαστάτες ακτίνες Χ δεν παρουσιάζουν τέτοια ελαττώματα. Χρησιμοποιούνται ποικίλες τεχνικές, αναλόγως με την ύποπτη ανωμαλία. Για την αξιολόγηση χρόνιων διεσπαρτικών διεργασιών (εμφύσημα, ίνωση και ούτω καθεξής), χρησιμοποιούνται λεπτά τμήματα με αναπαράσταση υψηλής χωρικής συχνότητας. Αυτή η ειδική τεχνική ονομάζεται CT υψηλής ανάλυσης. Επομένως, παράγει μια δειγματοληψία του πνεύμονα και όχι συνεχείς εικόνες.



**Εικόνα 32: Ψηφιακές τομογραφίες υψηλής ανάλυσης ενός κανονικού θώρακα, που λαμβάνονται στα αξονικά, στεφανιαία και ισχιακά επίπεδα, αντίστοιχα**

Αντίστοιχα, χάρη σε αυτή την υψηλή ανάλυση, παίρνουμε άριστες απεικονίσεις των στεφανιαίων αρτηριών, όπως φαίνεται και παρακάτω:



**Εικόνα 34: Παράδειγμα αξονικής τομογραφίας καρδιάς, που καταδεικνύει μια εμβολή σέλας (σκτεινή οριζόντια γραμμή) που κλείνει τις πνευμονικές αρτηρίες (φωτεινό λευκό τρίγωνο)**

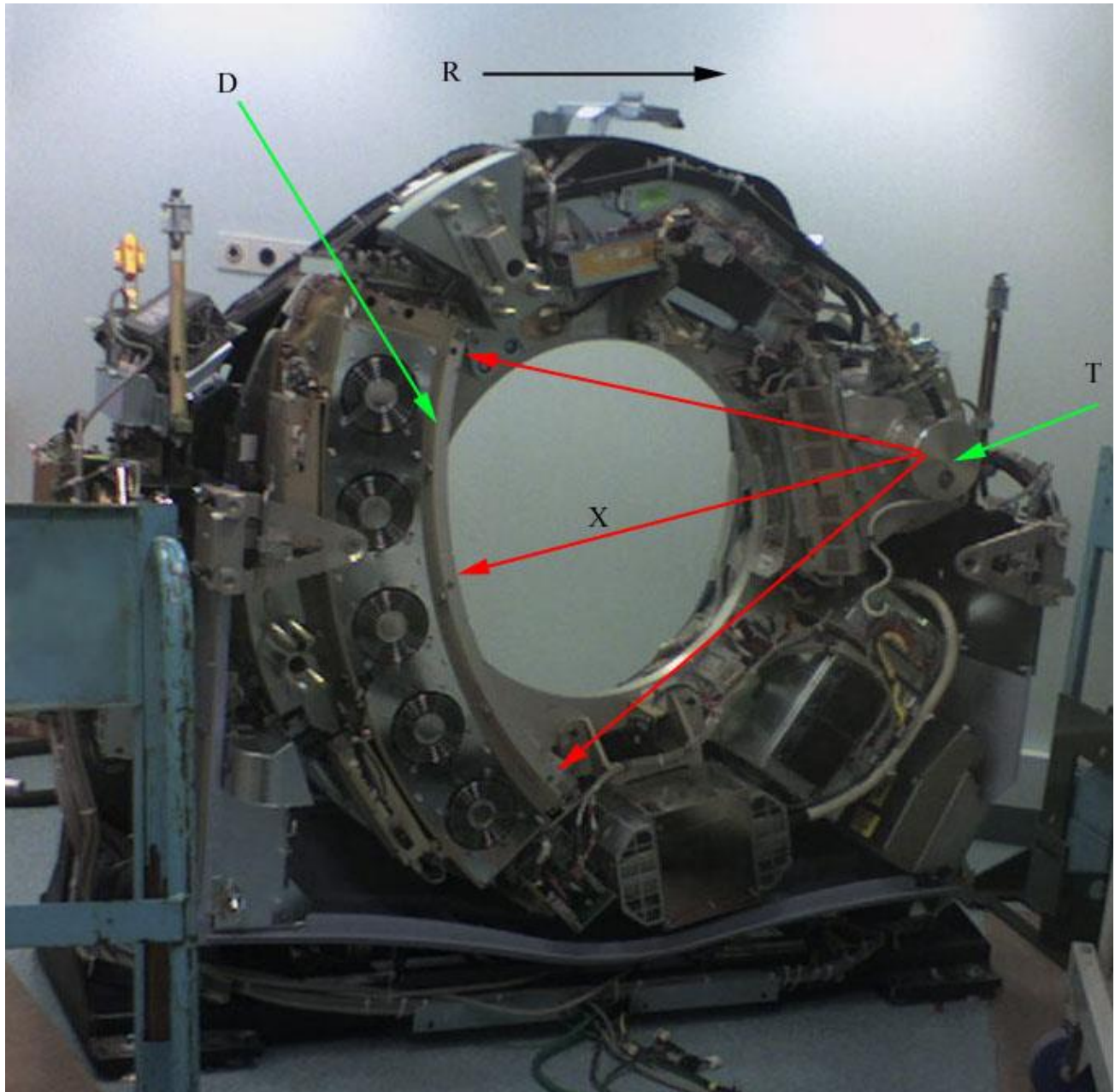
### Αρχή λειτουργίας Τομογράφου:

Η τομογραφία με ακτίνες Χ, λειτουργεί με τη χρήση μιας γεννήτριας ακτίνων Χ που περιστρέφεται γύρω από το προς εξέταση αντικείμενο. Οι ανιχνευτές ακτίνων Χ τοποθετούνται στην αντίθετη πλευρά του κύκλου από την πηγή ακτίνων Χ. Οι πρώτοι αισθητήρες ήταν ανιχνευτές σπινθηρισμού, με σωλήνες φωτοπολλαπλασιασμού διεγερμένους με (τυπικά) κρυστάλλους ιωδιούχου καϊσίου. Το ιωδιούχο καΐσιο αντικαταστάθηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 από θαλάμους ιόντων που περιείχαν αέριο ξένο υψηλής πίεσης. Αυτά τα συστήματα με τη σειρά τους αντικαταστάθηκαν από συστήματα σπινθηρισμού που βασίζονται σε φωτοδιόδους αντί για φωτοπολλαπλασιαστές και σύγχρονα υλικά σπινθηρισμού (για παράδειγμα, γρανάδες σπανίων γαιών ή κεραμικά οξείδια σπανίων γαιών) με πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Οι αρχικές μηχανές θα περιστρέφουν την πηγή ακτίνων Χ και τους ανιχνευτές γύρω από ένα ακίνητο αντικείμενο. Μετά από μια πλήρη περιστροφή, το αντικείμενο θα μετακινηθεί κατά μήκος του άξονά του και θα ξεκινήσει η επόμενη περιστροφή. Νεότερα μηχανήματα



επέτρεψαν τη συνεχή περιστροφή με το αντικείμενο που θα απεικονιστεί αργά και ομαλά, ολισθαίνοντας μέσω του δακτυλίου ακτίνων X. Αυτές ονομάζονται ελικοειδείς μηχανές CT. Μια επακόλουθη ανάπτυξη του ελικοειδούς CT ήταν ή CT πολλαπλών διατομών (ή πολλαπλών ανιχνευτών). Αντί για μία σειρά ανιχνευτών, χρησιμοποιούνται πολλαπλές σειρές αυτών, που συλλαμβάνουν αποτελεσματικά πολλαπλές διατομές ταυτόχρονα. Συστήματα με πολύ μεγάλο αριθμό σειρών ανιχνευτών, έτσι ώστε η κάλυψη του άξονα z να είναι συγκρίσιμη με την κάλυψη του άξονα xy, συχνά ονομάζονται CT cone beam, λόγω του κωνικού σχήματος της δέσμης ακτίνων X.



**Εικόνα 35 – Ένας CT σαρωτής, του οποίου έχει αφαιρεθεί το κάλυμμα. Τα δομικά του στοιχεία: (T): Ο σωλήνας ακτίνων X, (D): Ανιχνευτές ακτίνων X, (X): η δέσμη των ακτίνων (R): Φορά περιστροφής σαρωτή**

Σε συμβατικές μηχανές CT, ένας σωλήνας ακτίνων X και ένας ανιχνευτής περιστρέφονται πίσω από ένα κυκλικό περίβλημα (εικόνα 25).

Ένας εναλλακτικός, βραχύβιος σχεδιασμός, γνωστός ως τομογραφία με δέσμη ηλεκτρονίων (EBT), χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική παραμόρφωση μιας δέσμης ηλεκτρονίων μέσα σε ένα πολύ μεγάλο κωνικό σωλήνα ακτίνων X και μια στατική σειρά ανιχνευτών για να επιτύχει πολύ υψηλή χρονική ανάλυση, για απεικόνιση ταχέως μετακινούμενων δομών, όπως για παράδειγμα οι στεφανιαίες αρτηρίες.

Περαιτέρω, το φθοριοσκόπιο γύρω από τον ασθενή, μπορεί να ληφθεί μια γεωμετρία παρόμοια με την αξονική τομογραφία και με την επεξεργασία του ανιχνευτή ακτίνων X-2D κατά τρόπο παρόμοιο με έναν ανιχνευτή CT με έναν τεράστιο αριθμό σειρών, είναι δυνατόν να ανασυσταθεί ένας όγκος 3D από μια και μόνο περιστροφή του φθοριοσκοπίου, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό.

Μια οπτική αναπαράσταση των ακατέργαστων δεδομένων που αποκτήθηκαν ονομάζεται *sinogram* (στα Ελληνικά θα μπορούσε να αποδοθεί ως σινόγραμμα), ωστόσο δεν αρκεί για ερμηνεία. Μόλις αποκτηθούν τα δεδομένα σάρωσης, υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας μια μορφή τομογραφικής ανακατασκευής, η οποία παράγει μια σειρά από εικόνες εγκάρσιας τομής. Όσον αφορά τα μαθηματικά, τα ακατέργαστα δεδομένα που αποκτά ο σαρωτής αποτελούνται από πολλαπλές "προβολές" του αντικειμένου που σαρώθηκε.

Η τεχνική της φιλτραρισμένης οπίσθιας προβολής είναι μία από τις πιο καθιερωμένες αλγοριθμικές τεχνικές για την επίλυση του προβλήματος αυτού. Είναι επίσης υπολογιστικά απλό, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις, όπου επιστρατεύονται σύγχρονοι σαρωτές που απαιτούν μόνο λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου ανά εικόνα. Ωστόσο, αυτή δεν είναι η μόνη διαθέσιμη τεχνική: ο αρχικός ανιχνευτής EMI λύνει το πρόβλημα της τομογραφικής ανακατασκευής με γραμμική άλγεβρα, αλλά αυτή η προσέγγιση περιορίστηκε από την υψηλή υπολογιστική πολυπλοκότητά της, δεδομένης ιδίως της τεχνολογίας των υπολογιστών που ήταν διαθέσιμη εκείνη τη στιγμή. Πιο πρόσφατα, οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει επαναληπτικές τεχνικές μεγιστοποίησης μέγιστης πιθανότητας αναμενόμενης πιθανότητας βάσει φυσικών μοντέλων. Αυτές οι τεχνικές είναι επωφελείς επειδή χρησιμοποιούν ένα εσωτερικό μοντέλο των φυσικών ιδιοτήτων του σαρωτή και των φυσικών νόμων των αλληλεπιδράσεων ακτίνων X. Οι παλαιότερες μέθοδοι, όπως η φιλτραρισμένη οπίσθια προβολή, υποθέτουν έναν τέλειο σαρωτή και εξαιρετικά απλοποιημένη φυσική, η οποία οδηγεί σε μια σειρά παρεμβολών, υψηλού θορύβου και προβλημάτων ανάλυσης εικόνας (δημιουργία μαύρων στιγμάτων). Οι επαναληπτικές τεχνικές παρέχουν εικόνες με βελτιωμένη ανάλυση, μειωμένο θόρυβο και λιγότερα στίγματα, καθώς και τη δυνατότητα να μειωθεί σημαντικά η δόση ακτινοβολίας υπό ορισμένες συνθήκες. Ωστόσο, το μειονέκτημα είναι η πολύ υψηλή υπολογιστική απαίτηση, αλλά οι εξελίξεις στην τεχνολογία υπολογιστών και στις τεχνικές υπολογιστικής υψηλής

απόδοσης, όπως η χρήση παράλληλα μεγάλων αλγορίθμων GPU ή η χρήση εξειδικευμένου υλικού όπως FPGA ή ASIC, επιτρέπουν πλέον την πρακτική χρήση.



# 5<sup>η</sup> Ενότητα – Προοπτικές εξέλιξης της Ιατρικής Διάγνωσης στο μέλλον

## 5.1) Καταπόσιμες Συσκευές Διάγνωσης

Οι καταπόσιμες συσκευές διάγνωσης αναμένεται να πρωταγωνιστήσουν στο άμεσο μέλλον στον τομέα της διάγνωσης. Η ενδοσκόπηση μέσω ασύρματης κάψουλας (WCE: Wireless capsule endoscopy) έχει ήδη αρχίσει και χρησιμοποιείται. Οι κάψουλες αυτές χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση ποικίλων ασθενειών, συμπεριλαμβανομένων κρυφών γαστρεντερικών αιμορραγιών, του καρκίνου του παχέος και λεπτού εντέρου, της νόσου του Crohn κ.α.



***Εικόνα 36: Ηλεκτρονική κάψουλα ενδοσκόπησης. Ενδεικτικές διαστάσεις: Μήκος 1.5 cm και διάμετρος 0.9 cm.***

Οι κάψουλες αυτές χορηγούνται στον ασθενή μέσω της στοματικής οδού. Οι φωτογραφικοί μηχανισμοί που διαθέτουν είναι πολύ ισχυροί, με πολύ υψηλές ταχύτητες καρέ, για τη βέλτιστη δυνατή απεικόνιση του περιβάλλοντος χώρου τους. Συνήθως, οι μπαταρίες που διαθέτουν έχουν πολύ μικρή διάρκεια ζωής (ορισμένα λεπτά). Ωστόσο υπάρχουν ορισμένες κάψουλες, εφοδιασμένες με μπαταρίες μεγάλης διάρκειας ζωής, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μακροχρόνιες παρακολουθήσεις, όταν βεβαίως συνδυάζονται με έναν μηχανισμό φρεναρίσματος ή αγκίστρωσης, όπως πόδια ή μαγνήτες, ούτως ώστε να μην αποβληθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό.

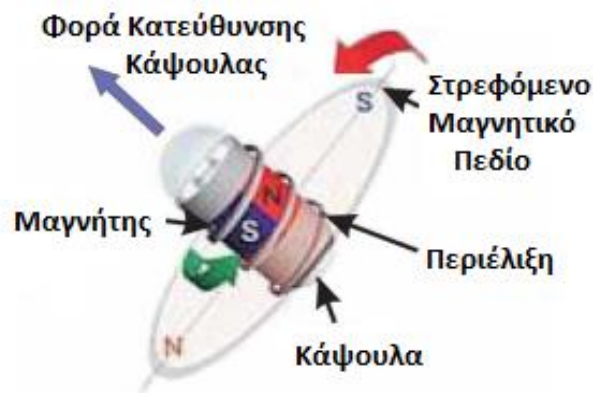
Βεβαία, αντιμετωπίζονται ποικίλες δυσκολίες στη χρήση των καψουλών αυτών. Μια από αυτές είναι ο εντοπισμός της θέσης της κάψουλας μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό. Δεδομένου του σχήματος και της δομής των ζωτικών στοιχείων μέσα από τα οποία διέρχεται η κάψουλα, ο εντοπισμός αυτής δεν είναι καθόλου εύκολος. Η αναγνώριση του σημείου στο

οποίο βρίσκεται από τις φωτογραφίες που θα αποστέλλει στο χρήστη είναι μια πιθανή λύση, ωστόσο και εδώ υπάρχουν εμπόδια, αφού κάποιες διαδρομές που ακολουθεί η κάψουλα (όπως η γαστρεντερική οδός / παχύ έντερο ) στερούνται όργανα και σημεία – ορόσημα. Έτσι υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις γύρω από το θέμα αυτό. Κάποιες από τις μεθόδους που έχουν εξεταστεί συμπεριλαμβάνουν συστήματα που βασίζονται σε ραδιοσυχνότητες (RF) τριγωνισμού, σε μαγνητική παρακολούθηση και υπερήχους. Όλα αυτά τα συστήματα βρίσκονται επί του παρόντος σε πειραματικό στάδιο και παραμένει ακόμα ασαφές το ποια μέθοδος θα είναι η καλύτερη και πιο εύκολα εφαρμόσιμη.

Αναφορικά με τον τρόπο μετακίνησης της κάψουλας μέσα στον οργανισμό, είναι και αυτό ένα πρόβλημα προς επίλυση. Μέχρι στιγμής έχουν εξεταστεί κάποιοι τρόποι, τόσο εσωτερικοί όπως και εξωτερικοί, όπως οι παρακάτω:

- Μετακίνηση με τη χρήση Μαγνητών

Με αυτή την εσωτερική μέθοδο, η κίνηση πραγματοποιείται μέσω μαγνητών. Η κάψουλα προωθείται από ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που προκαλεί σε αυτή μια ελικοειδή τροχιά, η οποία αλληλοεπιδρά με τα τοιχώματα του οισοφάγου και των εντέρων και έτσι διευκολύνει τη διέλευση της κάψουλας μέσα από αυτά.



Εικόνα 37: Μετακίνηση με μαγνήτες

- Μετακίνηση με εξωτερικούς μαγνήτες

Με έναν κάπως παρόμοιο τρόπο με τον προηγούμενο, ένας εξωτερικός μαγνήτης που τον χειρίζεται ο χρήστης, τοποθετείται εξωτερικά πάνω από το σημείο εισαγωγής της κάψουλας και μετακινείται αναλόγως με τη μετακίνηση του εξωτερικού μαγνήτη.

- Μετακίνηση με κινητήρα DC

Εδώ επιστρατεύεται ένας DC κινητήρας πολύ μικρής ισχύος, όπου η μετακίνηση πραγματοποιείται χειροκίνητα από τον χρήστη μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή ο οποίος επικοινωνεί με την κάψουλα.

### Συστήματα Διάγνωσης

Είναι εφικτό μια κάψουλα να μεταφέρει ορισμένους βιοαισθητήρες. Ποσότητες που έχουν μετρηθεί μέχρι στιγμής από τους αισθητήρες που τοποθετούνται στην κάψουλα περιλαμβάνουν το pH, την πίεση, την οξυγόνωση, τη θερμοκρασία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και τη ροή του αίματος. Ο αισθητήρας του pH μπορεί να ανιχνεύσει την όξινη/γαστροοισοφαγική παλινδρόμηση ενώ η παρακολούθηση της σύνθετης ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να ανιχνεύσει τη μη όξινη παλινδρόμηση, τα οποία και τα δυο είναι πολύ χρήσιμα στη διάγνωση.

Η θερμοκρασία μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση ενός θερμίστορ ως αισθητήρα ή με τη χρήση τη συχνότητας της ταλάντωσης ενός κρυστάλλου για τη μέτρηση αυτής. Επίσης, βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης ένας μηχανισμός για την ανίχνευση αίματος στο έντερο και στο στομάχι που απαρτίζεται από μικροαισθητήρες. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια καταπόσιμη κάψουλα που επικοινωνεί με μια εξωτερική οθόνη παρακολούθησης. Στο μπροστινό μέρος της κάψουλας βρίσκονται κάποια λαμπάκια LED τα οποία εκπέμπουν μπλε και κόκκινο φως, προσδιορίζοντας έτσι την παρουσία αίματος με τη χρήση της φασματοσκοπίας.

## 5.2) Ταχεία παραγωγή σκελετικών πρωτοτύπων για ενίσχυση της διάγνωσης στην ορθοπεδική χειρουργική και στην τραυματολογία

---

Η ιατρική απεικόνιση παρέχει 2D προβολές ή και 3D αναπαραστάσεις, σε τέτοιες κλίμακες όμως που οι τελευταίες δεν είναι πλήρως διακριτές. Οι λεπτομέρειες μπορεί να είναι κρυφές ή διφορούμενες, με αποτέλεσμα όλες αυτές οι 3D παραστάσεις να είναι στην ουσία 2D. Η προσφορά τους στην ορθοπεδική χειρουργική είναι πολύ μεγάλη καθώς συνεισφέρουν στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών, με αναγνώριση της παθολογίας των οστών και των τραυμάτων. Ωστόσο, δεν επιτρέπουν την ακριβή ανάλυση των χωρικών σχέσεων, όπως τις ασυμμετρίες των αρθρώσεων και τις πληροφορίες σχετικές με την κινηματική. Μια τεχνική λοιπόν που συνδυάζει την αξιολόγηση του μεγέθους και του όγκου παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον.



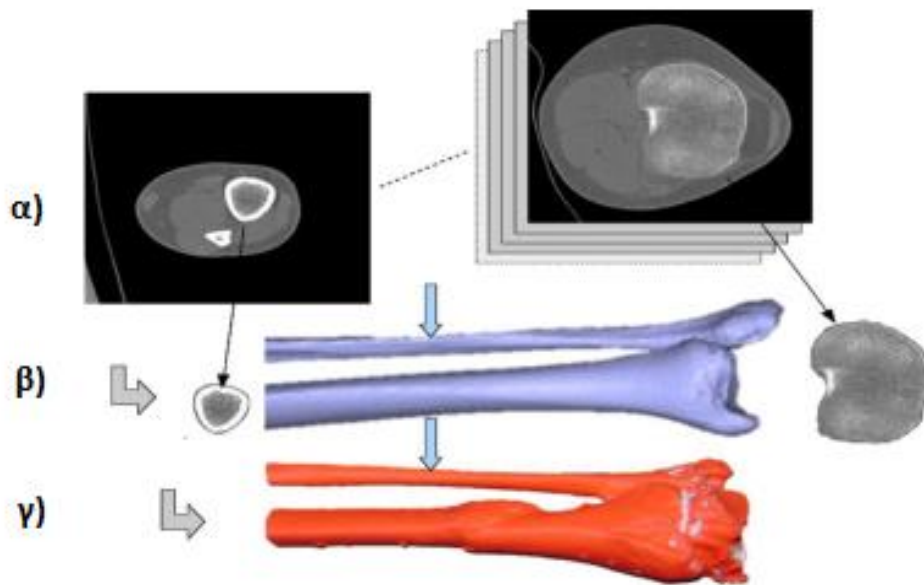
**Εικόνα 38: Οστό ποδιού (κνήμη και πέλμα), κατασκευασμένα μέσω 3D εκτυπωτή**

Η ταχεία πρωτοτυποποίηση είναι ένα μέσο για την παραγωγή ενός τρισδιάστατου αντίγραφου βασισμένου σε ψηφιακή μοντελοποίηση και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στον τομέα της ιατρικής στη δεκαετία του 1990. Η ουσία έγκειται στην εμβάθυνση στη διάγνωση

και στον σχεδιασμό ή ακόμα και στην προσομοίωση μιας πολύπλοκης επέμβασης ή την παρουσίαση των διαδικασιών για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων.

Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως ανοίγονται νέοι ορίζοντες για τους επιστήμονες ιατρούς χάρη στους σύγχρονους 3D εκτυπωτές. Αξιοποιώντας τα δεδομένα αξονικών τομογραφιών, ο γιατρός θα μπορεί να καθορίσει με σχεδόν πλήρη ακρίβεια τη γεωμετρία και τις ιδιότητες του προς εξέταση οστού ή χόνδρου και να 'εκτυπώσει' ένα πιστό αντίγραφο αυτού. Το τελικό προϊόν είναι ένα αντικείμενο από ακρυλονιτρόλιο βουταδένιο στυρόλιο (ABS) το οποίο είναι άκαμπτο και μπορεί να παραποιηθεί πλήρως από τον επιστήμονα ιατρό.

Εν κατακλείδι, πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις, όπως η αρθροπλαστική ώμου και η μηριαία τριχοπλαστική, απλοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό, εφόσον θα μπορεί να παραχθεί ένα υγιές πιστό αντίγραφο του ζημιωμένου οστού ή χόνδρου, το οποίο θα το αντικαταστήσει. Επιπροσθέτως, η ακρίβεια στη διάγνωση, με στόχο την καλύτερη δυνατή θεραπεία, θα αυξηθεί πάρα πολύ εφόσον θα αποφευχθούν γκρίζα σημεία και λοιπές απεικονιστικές αδυναμίες που μπορεί να υπάρξουν στην παραδοσιακή ακτινογραφία/τομογραφία



**Εικόνα 39: Στάδια κατασκευής τεχνητού οστού, α) Απεικόνιση μέσω αξονικής τομογραφίας β) επεξεργασία δεδομένων και διαστασιολόγηση και γ) τελικό αποτέλεσμα**

Ο χειρουργικός σχεδιασμός που απαιτεί πολύπλοκους όγκους, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση σοβαρής ψευδάρθρωσης επιφύσεων, διευκολύνεται από την ταχεία παραγωγή πρωτοτύπων. Η απεικόνιση της μορφολογίας των οστών μέσω της αξονικής τομογραφίας είναι ιδιαίτερα επωφελής στο πεδίο της οστεοτομίας. Ένα πρωτότυπο μπορεί να κοπεί, να βιδωθεί είτε να κολληθεί, επιτρέποντας ακριβή προσομοίωση των μετεγχειρητικών αποτελεσμάτων. Οι εσωτερικές δομές αναπαράγονται πιστά όπως και οι εξωτερικές επιφάνειες. Στην ψευδάρθρωση, η χειρουργική προσέγγιση μπορεί να επεξεργαστεί χάρη στην εξαιρετική χωρική αναπαράσταση και της ικανότητας να επεξεργαστεί στην πράξη το αντίγραφο περίπλοκων οστών, απλοποιώντας έτσι τις χειρουργικές επεμβάσεις. Χωριστά πρωτότυπα μπορούν να συνδυαστούν για την ανασύσταση μεγαλύτερων ανατομικών περιοχών. Πλεον, ένα αντίγραφο μπορεί να παραχθεί σε λιγότερο από 48 ώρες.

Ωστόσο, αυτό μπορεί να κάνει την τεχνική αυτή ακατάλληλη σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης στην τραυματολογία, αλλά επιδιώκεται καθημερινά η μείωση του συνολικού χρόνου παραγωγής. Ένας τεχνικός πρέπει να αφιερώνει μερικές ώρες ώστε να πραγματοποιήσει την ψηφιοποίηση. Η πραγματική παραγωγή/εκτύπωση δεν απαιτεί την ανθρώπινη παρουσία. Επίσης, πιθανοί θρυμματισμοί και μετατοπίσεις οστών και χόνδρων, δεν εμποδίζουν την μοντελοποίηση καταγμάτων, καθώς η δομή στήριξης (διαφοροποιείται ανάλογα με το χρώμα) συγκρατεί τα θραύσματα μαζί. Η μοντελοποίηση οστεοπορωτικών ή νεκρών ιστών παραμένει ένα άλυτο ζήτημα: η υφή του πρωτότυπου δεν είναι ποτέ ίδια με αυτή του πραγματικού ιστού, κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, ιδίως σε περιπτώσεις αρθροπλαστικής.

## 5.3) Νανοτεχνολογία & Ιατρικές συσκευές διάγνωσης

---

Η νανοτεχνολογία αναφέρεται στα επιτεύγματα της έρευνας και τεχνολογίας που σχετίζονται με την κατανόηση και τον έλεγχο της ύλης στη νανοκλίμακα (1-100 nm). Σχετίζεται με την ικανότητα απεικόνισης, μέτρησης, μοντελοποίησης και χειρισμού της ύλης σε επίπεδο νανοκλίμακας και την ικανότητα κατανόησης, δημιουργίας και χρήσης νανοδομών και νανοδομημένων συσκευών και συστημάτων τα οποία χαρακτηρίζονται από νέες βασικές ιδιότητες και λειτουργίες εξαιτίας της νανοδομής τους.

Η νανοϊατρική ορίζεται ως η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στον τομέα της υγείας. Στηρίζεται στις βελτιωμένες και συχνά νέες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες των νανοδομημένων υλικών. Το συγκρίσιμο μέγεθος των συνθετικών αυτών δομών με φυσικές λειτουργικές μονάδες (βιομόρια και κύτταρα) επιτρέπει την άμεση αλληλεπίδραση τους με τους ζωντανούς οργανισμούς. Στόχος της νανοϊατρικής είναι η βελτίωση της διαγνωστικής ιατρικής (έγκαιρη και έγκυρη διάγνωση ασθενειών), της θεραπευτικής ιατρικής (π.χ.,

συστήματα στοχευμένης αποδέσμευσης φαρμάκων) και της αναγεννητικής ιατρικής (π.χ., αναγέννηση ιστών, κυτταροθεραπείες).

### Διαγνωστική Ιατρική

Η διαγνωστική ιατρική περιλαμβάνει την *in vivo* απεικόνιση και την *in vitro* διάγνωση και έχει ως στόχο την πρόωρη διάγνωση ασθενειών, για παράδειγμα στο επίπεδο ανίχνευσης ενός “ελαττωματικού” κυττάρου ή ενός βιομορίου τα οποία σηματοδοτούν την έναρξη μίας ασθένειας.

Σε ό,τι αφορά την *in vivo* απεικόνιση, η έρευνα εστιάζει στην ανάπτυξη βελτιωμένων συστημάτων ανίχνευσης (π.χ., μικρές, χαμηλού κόστους κάμερες για απεικόνιση όλου του σώματος με πολλαπλά-ισότοπα και πολλαπλούς ανιχνευτές), ανάπτυξη βελτιωμένων, μη τοξικών ανιχνευτικών μικρο-διατάξεων που δεν προκαλούν διέγερση του ανοσοποιητικού συστήματος ενώ διεγείρονται από κάποιο εξωτερικό μαγνητικό ή ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και διεισδύουν στα κύτταρα ξεπερνώντας τα διάφορα βιολογικά εμπόδια, βελτίωση των μεθόδων συλλογής σημάτων, ανάλυσης εικόνας και επεξεργασίας σήματος και δεδομένων (π.χ. μετατροπή σήματος από απόσταση, ενδοκυτταρική τομογραφία σε πραγματικό χρόνο, ανίχνευση και διάγνωση με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για διευκόλυνση της εξαγωγής πληροφοριών, κλπ.).

Στα πλαίσια της *in vitro* διάγνωσης, ο συνδυασμός της ελαχιστοποίησης του μεγέθους των διαγνωστικών συσκευών και της ενσωμάτωσης διαφόρων λειτουργιών σε μία μοναδική συσκευή με βάση προηγμένες τεχνικές της βιομηχανίας ηλεκτρονικών, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη συσκευών οι οποίες είναι μικροσκοπικές, γρήγορες, έχουν χαμηλό κόστος, δεν απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για τη χρήση τους, χρειάζονται μικρά δείγματα, το οποίο συνεπάγεται λιγότερο επώδυνες και τραυματικές μεθόδους λήψης δειγμάτων αίματος, βιολογικών υγρών και ιστών, και εξάγουν ολοκληρωμένα και ακριβή δεδομένα από μια και μοναδική μέτρηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν ήδη αναπτυχθεί νανοσυσκευές διάγνωσης σε μορφή πλακιδίου (*chip*), ικανές να αναγνωρίσουν και να ποσοτικοποιήσουν συγκεκριμένα τμήματα του ανθρώπινου γονιδιώματος, καθώς και των εκφρασμένων πρωτεϊνών τους.

### Θεραπευτική Ιατρική

Η πρόοδος στην ελεγχόμενη αποδέσμευση των φαρμάκων σχετίζεται με την ανάπτυξη συνθετικών νανο-συστημάτων για τη στοχευμένη απόδοση περίπλοκων θεραπευτικών φαρμάκων και βιομορίων.

Τα περισσότερα φάρμακα πρώτης γραμμής είναι τοξικά συστατικά χωρίς απόλυτα συγκεκριμένη δράση και δυνατότητα στόχευσης τα οποία έχουν ανεπιθύμητες παρενέργειες



και συχνά οδηγούν σε εξασθένηση του οργανισμού. Η νανοτεχνολογία, παρέχοντας τη δυνατότητα τροποποίησης των χαρακτηριστικών ενός φαρμάκου, αύξησης της διαλυτότητάς του, μείωσης της αποδόμησής του στην κυκλοφορία και συγκέντρωσής του στο σημείο δράσης υπόσχεται την αύξηση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση των παρενεργειών του. Δεδομένου όμως ότι τα χαρακτηριστικά των φαρμάκων διαφέρουν σημαντικά σε ότι αφορά τη σύσταση, το μοριακό μέγεθος, την υδροφιλικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα, τη βέλτιστη συγκέντρωση (σε υψηλότερες ή χαμηλότερες συγκεντρώσεις το φάρμακο μπορεί να είναι τοξικό ή να μην έχει θεραπευτική ικανότητα) κλπ., τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων στοχευμένης απόδοσης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα.

Οι κύριοι στόχοι της νανοτεχνολογίας στα πλαίσια των στοχευμένων συστημάτων απόδοσης φαρμάκων είναι η μεγιστοποίηση της βιοδιαθεσιμότητας και της αποτελεσματικότητας των θεραπευτικών ουσιών, ο έλεγχος της φαρμακοκινητικής και της φαρμακοδυναμικής που εμφανίζουν, ο έλεγχος και η καταστολή της ανεπιθύμητης τοξικότητας και της ανοσογένειας που προκαλούν καθώς και η αποτελεσματική αντιμετώπιση περιορισμών χρήσης τους λόγω της γρήγορης αποικοδόμησης και απομάκρυνσης τους από τον ανθρώπινο οργανισμό, της σχετικά σύντομης βιολογικής δραστηριότητάς τους και της αδυναμίας τους να διαπεράσουν βιολογικά εμπόδια. Μία σημαντική πρόκληση για τη νανοτεχνολογία αποτελεί επίσης, η ανάπτυξη συστημάτων στοχευμένης απόδοσης πρωτεϊνικών / πεπτιδικών (Π/Π) φαρμάκων για ανώδυνη χορήγηση (π.χ., στοματική, ρινική).

### Αναγεννητική Ιατρική

Στηριζόμενη σε νέες τεχνικές κυτταροκαλλιέργειας και στο σχεδιασμό βιοαποικοδομήσιμων πολυμερών, η μηχανική ιστών εμφανίζεται στο προσκήνιο ως η πιο προηγμένη μέθοδος θεραπείας στην αναγεννητική ιατρική. Στους στόχους της μηχανικής ιστών συγκαταλέγονται η αναγέννηση παθολογικών ιστών και η πρόληψη και θεραπεία χρόνιων διαταραχών που επιφέρουν ανικανότητα, όπως η οστεοαρθρίτιδα, και ασθενειών του καρδιαγγειακού και κεντρικού νευρικού συστήματος.

Αναφορικά με τα βιοϋλικά, οι ερευνητικές κατευθύνσεις της νανοτεχνολογίας εστιάζουν σε βιοαποικοδομήσιμα έξυπνα βιοϋλικά με βιοδραστικές επιφάνειες και ελεγχόμενους ρυθμούς αποικοδόμησης, βιοϋλικά που ενεργοποιούν γονίδια ειδικά σχεδιασμένα για συγκεκριμένες ασθένειες, έξυπνα ικρίωματα με ελεγχόμενη δομή για μηχανική ιστών, λειτουργικές βιομιμητικές μεμβράνες οι οποίες μιμούνται τις κυτταρικές μεμβράνες, τεχνολογία αισθητήρων για την αποτίμηση της ενσωμάτωσης και λειτουργικότητας των εμφυτευμάτων, αισθητήρες για την ακριβή ενεργοποίηση γονιδίων και τον έλεγχο της ανάπτυξης των

κυττάρων και των ιστών, έλεγχο της ασυμβατότητας μεταξύ δότη και παραλήπτη, των μολύνσεων εξαιτίας των εμφυτευμάτων και της απόρριψης του εμφυτεύματος.

Σχετικά με τις κυτταροθεραπείες, πρόσφατες εξελίξεις στις θεραπευτικές στρατηγικές περιλαμβάνουν τη χρήση βλαστικών κυττάρων ως πηγή αναγεννητικών κυττάρων και τη χρήση μορίων που άγουν συγκεκριμένες βιολογικές αποκρίσεις και διεγείρουν την ανάπτυξη ιστών σε μοριακό επίπεδο.

### Μελλοντικές Προκλήσεις

Στο εγγύς μέλλον, αναμένεται να δοθεί προτεραιότητα στο σχεδιασμό ολοκληρωμένων πολυλειτουργικών συσκευών διάγνωσης για ένα μεγάλο εύρος παθολογιών οι οποίες θα χαρακτηρίζονται από ενσωμάτωση της διεργασίας προετοιμασίας του δείγματος, επιπλέον μείωση του απαιτούμενου όγκου των βιολογικών δειγμάτων, ολοκληρωμένη ανάλυση ενός βιο-μοτίβου (χαρτογράφηση) που περιλαμβάνει γονίδια, πεπτίδια και μικρά μόρια, σε ένα πολύπλοκο δείγμα, ενσωματωμένο λογισμικό, δείκτες για συγκεκριμένες ασθένειες και κατάλληλο εξοπλισμό για συλλογή δεδομένων από απόσταση.

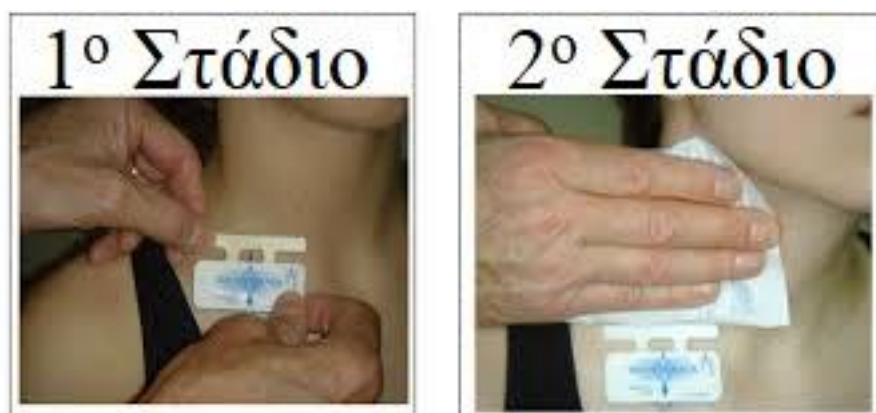
Οι μελλοντικές προκλήσεις στην ελεγχόμενη αποδέσμευση φαρμάκων αφορούν την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων απόδοσης φαρμάκων που προσαρμόζουν τη θεραπεία στις ανάγκες του ασθενούς. Τα συστήματα αυτά, θα πρέπει να παράγονται με χαμηλό κόστος, να χορηγούνται με όσο το δυνατόν πιο ανώδυνο τρόπο, να ανιχνεύονται εύκολα και να επιτρέπουν την απελευθέρωση του φαρμάκου στο επιθυμητό σημείο με απόλυτη ακρίβεια. Προηγμένα λειτουργικά στοιχεία όπως αισθητήρες, συσκευές μνήμης και λογικής, θα πρέπει να μπορούν να ενσωματωθούν κατευθείαν στο σύστημα αποδέσμευσης επιτρέποντας την απελευθέρωση του φαρμάκου την κατάλληλη στιγμή.

## 5.4) Διαγνωστική Συσκευή Shunt-Check

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει στο εσωτερικό του κάποιους χώρους που ονομάζονται κοιλίες. Οι κοιλίες αυτές είναι γεμάτες με ένα υγρό που παράγουν οι ίδιες, το εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Το υγρό αυτό κυκλοφορεί συνεχώς μέσα στον εγκέφαλο και διοχετεύεται στη βάση του. Όταν για οποιοδήποτε λόγο, εμποδίζεται η ροή από τις κοιλίες προς τη βάση του εγκεφάλου, το υγρό συσσωρεύεται μέσα στις κοιλίες και έτσι αυξάνεται το μέγεθός τους. Αυτή η πάθηση ονομάζεται υδροκεφαλία. Η διαγνωστική συσκευή Shunt – Check αποτελεί μια ιατρική, μη επεμβασική, διαγνωστική συσκευή, η οποία ανιχνεύει το τη ροή του εγκεφαλονωτιαίου υγρού στις εγκεφαλικές διακλαδώσεις των ασθενών που πάσχουν από την πάθηση της υδροκεφαλίας.

Οι τρέχουσες μέθοδοι για τη διάγνωση της υδροκεφαλίας, περιλαμβάνουν την αξονική τομογραφία, ραδιοκλυδικές μελέτες, κ.α., οι οποίες περιλαμβάνουν περιορισμούς και κινδύνους. Αυτοί οι περιορισμοί οδήγησαν στην ανάπτυξη του Shunt-Check.

Το Shunt-Check χρησιμοποιεί τη θερμική διάλυση για την ανίχνευση της ροής. Αποτελείται από έναν αισθητήρα, ο οποίος είναι ένα θερμόμετρο δέρματος πολύ υψηλής ακρίβειας, ο οποίος τοποθετείται πάνω από τη διακλάδωση, η οποία διασχίζει την κλείδα (1<sup>ο</sup> Στάδιο – Εικόνα).

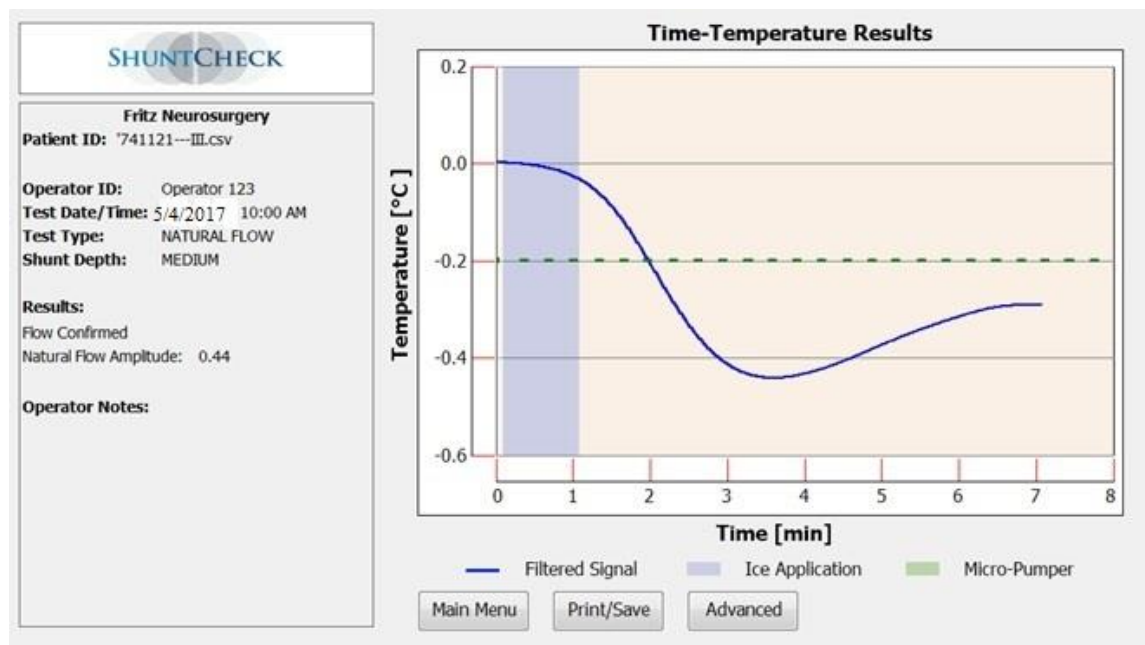


*Εικόνα 40: Τοποθέτηση αισθητήρα και ψύξη της περιοχής άνωθεν αυτού*

Η διακλάδωση, η οποία βρίσκεται συνήθως κάτω από το δέρμα, ψύχεται με ένα πακέτο πάγου (2<sup>ο</sup> Στάδιο – Εικόνα) που τοποθετείται ακριβώς από πάνω από τον αισθητήρα. Αν το εγκεφαλονωτιαίο υγρό διέρχεται μέσω της διακλάδωσης αυτής, το ψυχθέν ρευστό θα κινηθεί προς τα κάτω και ο αισθητήρας θα ανιχνεύσει την πτώση θερμοκρασίας. Ταχύτερη ροή στη

διακλάδωση οδηγεί σε μεγαλύτερες μειώσεις της θερμοκρασίας. Εάν δεν υπάρχει ροή στη διακλάδωση, τότε ο αισθητήρας δεν ανιχνεύει κάποια μεταβολή στη θερμοκρασία.

Ο αισθητήρας συνδέεται με ένα τάμπλετ, ένα smartphone ή έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, τα οποία διαθέτουν την ειδική εφαρμογή/λογισμικό Shunt-Check. Μέσω του λογισμικού, αναλύονται τα θερμικά δεδομένα που συλλέγονται από τον αισθητήρα, καθορίζεται το εάν υπήρχε ροή και δημιουργείται ένα γράφημα της θερμοκρασίας – χρόνου.



***Εικόνα 41: Οθόνη αποτελεσμάτων του λογισμικού Shunt-Check***

Με βάση κάποιες πρώιμες κλινικές μελέτες του Shunt-Check διαπιστώθηκε ότι οι διακλαδώσεις που λειτουργούν, δεν έχουν συνεχόμενη ροή, αλλά ανα τακτά διαστήματα, κάτι που σημαίνει ότι ενδεχόμενες διακοπές στη συλλογή δεδομένων δεν οφείλονταν σε δυσλειτουργία της συσκευής. Αυτή η παρατήρηση οδήγησε στην ανάπτυξη του Shunt-Check Micro-Pumper, μια φορητή συσκευή η οποία προκαλεί δονήσεις στη βαλβίδα διακλάδωσης, δημιουργώντας έτσι μια προσωρινή τεχνητή αύξηση ροής στις διακλαδώσεις, εκτός από αυτές που έχουν παρεμποδιστεί (βουλώσει). Το micro-pumper επιτρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ

των διακλαδώσεων που έχουν παρεμποδιστεί και των διακλαδώσεων που προσωρινά δεν εμφανίζουν ροή.



*Εικόνα 42: Shunt-Check micro-pumper*

Το ολοκληρωμένο σύστημα του Shunt-Check περιλαμβάνει τον αισθητήρα, ένα δείκτη αίματος, μια παγοκύστη, μια μονάδα συλλογής δεδομένων (έναν αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα που ονομάζεται DAQ) και φυσικά το ειδικό λογισμικό/εφαρμογή που απαιτείται για την ανάλυση των δεδομένων.





***Εικόνα 43: Σύστημα Shunt-Check***

## 5.5) Μελλοντικές Διαγνωστικές Συσκευές υπο εξέλιξη

---

Εν έτει 2017, με την τεχνολογία να εξελίσσεται συνεχώς, οι ιατρικές εταιρείες εστιάζουν στην ανάπτυξη διαγνωστικών συσκευών που θα προσφέρουν ταχύτερη, ακριβέστερη και φθηνότερη διάγνωση. Ορισμένες από τις τεχνολογίες που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο και αναμένεται να πρωταγωνιστήσουν μέσα στα επόμενα χρόνια, παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα.

### **5.5.1) Ανιχνευτής Μελανωμάτων MelaFind:**

Το κλειδί για τη θεραπεία μελανώματος είναι η έγκαιρη ανίχνευση πριν ο καρκίνος εξαπλωθεί πέρα από το επιδερμικό στρώμα του δέρματος. Έχουν αναπτυχθεί πολλές καινοτόμες, αυτοματοποιημένες συσκευές οπτικής σάρωσης για τη στήριξη των παρόχων φροντίδας κατά την έγκαιρη διάγνωση. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν γρήγορη και μη διεισδυτική απεικόνιση βαθύτερα στο δέρμα για την ανίχνευση ενδείξεων κακοήθους αλλαγής.

Το πρότυπο αναφοράς είναι η οπτική εξέταση των δερματικών βλαβών, ακολουθούμενη από βιοψία και ιστοπαθολογική ανάλυση, αν και η συμφωνία μεταξύ των δερματοπαθολόγων ποικίλλει. Η δερματοσκόπηση παρέχει πρόσθετες οπτικές πληροφορίες, αυξάνοντας τη διαγνωστική ακρίβεια, αλλά δεν χρησιμοποιείται ευρέως και είναι χρονοβόρα. Οι οπτικοί σαρωτές έχουν ευνοϊκούς ρυθμούς ευαισθησίας (δηλαδή εντοπίζουν τα περισσότερα μελανώματα) αλλά παρουσιάζουν χαμηλή ειδικότητα, που σημαίνει ότι πολλές δερματικές βλάβες χαρακτηρίζονται εσφαλμένα ως ύποπτες και προχωρούν σε περιττή βιοψία.

Με την πιο θανατηφόρα μορφή του καρκίνου του δέρματος, το μελάνωμα, ένας τεράστιος αριθμός επικίνδυνων μελανωμάτων είναι πραγματικά αβλαβής, αλλά ήταν πάντα αδύνατο να γνωρίζουμε με σιγουριά, χωρίς μια επεμβατική χειρουργική βιοψία. Σήμερα οι δερματολόγοι έχουν νέα βοήθεια για να κάνουν τη σωστή κλήση - ένα φορητό εργαλείο εγκεκριμένο από το FDA για την πολυφασματική ανάλυση της μορφολογίας των ιστών. Ο οπτικός σαρωτής **MelaFind** δεν προορίζεται για οριστική διάγνωση, αλλά για την παροχή πρόσθετων πληροφοριών που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας γιατρός για να αποφασίσει αν θα προβεί ή όχι βιοψία. Ο στόχος είναι να μειωθεί ο αριθμός των ασθενών που έμειναν με περιττές ουλές βιοψίας, με το επιπλέον πλεονέκτημα της εξάλειψης του κόστους περιττών διαδικασιών. Η τεχνολογία MelaFind (MELA Sciences, Irvington, NY) χρησιμοποιεί τεχνολογίες πλοήγησης πυραύλων για να ανιχνεύσει οπτικά την επιφάνεια μιας ύποπτης βλάβης σε 10 ηλεκτρομαγνητικά μήκη κύματος. Τα συλλεγόμενα σήματα επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας



αλγόριθμους βαρέως τύπου και συνδυάζονται με ένα μητρώο 10.000 ψηφιακών εικόνων μελανώματος και δερματικής ασθένειας.



**Εικόνα 44: Ανιχνευτής μελανωμάτων MelaFind**

Το **MelaFind** χρησιμοποιεί έναν ακτινοβολητή που φωτίζει 10 μήκη κύματος, ένα σύστημα φακών που δημιουργεί εικόνες του φωτός που είναι διάσπαρτα πίσω από τις δερματικές αλλοιώσεις και έναν αισθητήρα φωτός για την αξιολόγηση ιστών σε βάθος έως 2,5 mm κάτω από την επιφάνεια του δέρματος. Οι πληροφορίες από τη συσκευή μεταδίδονται σε αλγορίθμους ανάλυσης εικόνας χρησιμοποιώντας μια βάση δεδομένων για τη διαταραχή του δέρματος. Μια πρόταση θεραπείας παρέχεται. δηλ., MelaFind θετικός (υψηλός βαθμός μορφολογικής αποδιοργάνωσης) ή MelaFind αρνητικός (χαμηλός βαθμός μορφολογικής αποδιοργάνωσης).

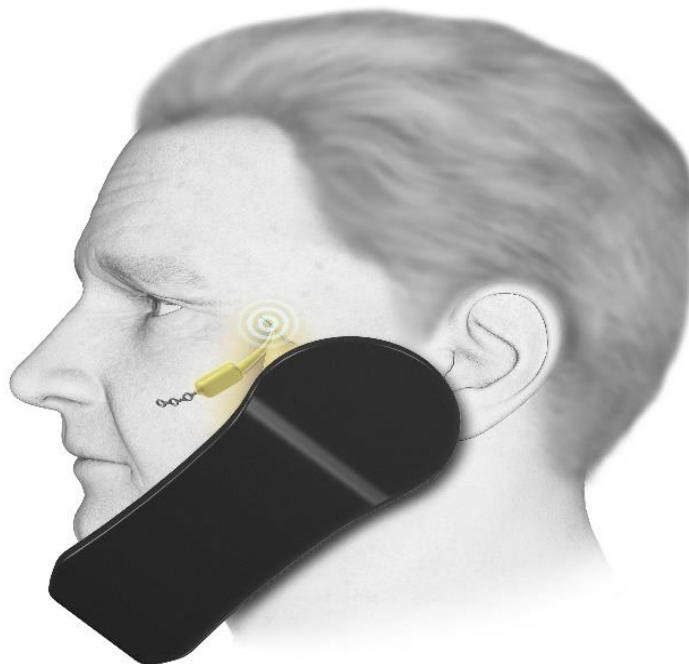
### **5.5.2) Ηλεκτρονική Ασπιρίνη:**

Η Autonomic Technologies, Inc. (ATI) έχει αναπτύξει το Pulsante™ SPG Microstimulator System για την παροχή ερεθιστικής θεραπείας SPG κατά παραγγελία, με σκοπό την ανακούφιση του οξέος πόνου που προκαλείται από την κεφαλαλγία. Το σύστημα Pulsante είναι ένα ελάχιστα επεμβατικό, επαναφορτιζόμενο, πολυκαναλικό σύστημα διέγερσης των περιφερικών εγκεφαλικών νεύρων. Το σύστημα περιλαμβάνει:

- Το ένθετο: Ένα μικροδιεγέρτη (μικρότερο από ένα αμύγδαλο) με ενσωματωμένο μόλυβδο που έχει σχεδιαστεί για να ταιριάζει στην εκτεταμένη ανατομία του προσώπου.



- Το τηλεχειριστήριο: Μια συσκευή χειρός με απλά χειριστήρια θεραπείας που παρέχει θεραπεία SPG ελεγχόμενη από τον ασθενή. Οι ρυθμίσεις θεραπείας είναι εξατομικευμένες και μπορούν να προσαρμοστούν γρήγορα από τους γιατρούς μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.



Η συσκευή εισάγεται μέσω μίας μικρής τομής στο ανώτερο κόμμα πάνω από το δεύτερο μοτίβο και τοποθετείται στη δέσμη νεύρων σφαιροπαλατίνης (SPG). Το SPG βρίσκεται βαθιά στο πρόσωπο και στις δύο πλευρές της ρινικής κοιλότητας. Ο νευροδιεγέρτης τοποθετείται στην πλευρά του πονοκέφαλου του ασθενούς. Η διαδικασία δεν αφήνει ορατά σημάδια.

Ο ασθενής ελέγχει τη δική του θεραπεία διέγερσης όπως απαιτείται ενεργοποιώντας το τηλεχειριστήριο και τοποθετώντας το στο μάγουλο πάνω από την εισαγόμενη συσκευή. Όταν ο ασθενής δεν επιθυμεί πλέον διέγερση, ο τηλεχειρισμός απλά αφαιρείται από το μάγουλο, απενεργοποιώντας τη θεραπεία διέγερσης.

Εάν δεν απαιτείται επιπλέον θεραπεία διέγερσης SPG και χρήση του συστήματος Pulsante, η συσκευή μπορεί να παραμείνει στη θέση της ή εάν είναι επιθυμητό, μπορεί να απομακρυνθεί με τοπική αναισθησία και την κατάλληλη διαδικασία.

### **5.5.3) Μετρητής Διαβήτη χωρίς βελόνα**

Ένα μεγάλο ποσοστό του ανθρωπίνου πληθυσμού παγκοσμίως πάσχει από διαβήτη. Ο ασθενής πρέπει σε καθημερινή βάση να συλλέγει μια μικροποσότητα από το αίμα του για να παρακολουθεί τα επίπεδα του σακχάρου σε αυτό. Ο συνηθέστερος τρόπος λήψης και ανάλυσης του σακχάρου στο αίμα είναι με τον παραδοσιακό μετρητή σακχάρου, ο οποίος

μέσω μιας βελόνας, τρυπάει στιγμιαία το ανθρώπινο δέρμα και λαμβάνει την επιθυμητή μικροποσότητα αίματος την οποία και αναλύει.



**Εικόνα 45: Διαδερμικός αισθητήρας μέτρησης σακχάρου**

Αυτή την περίοδο, η Echo Therapeutics (Φιλαδέλφεια, PA) αναπτύσσει τεχνολογίες που θα αντικαταστήσουν την πτύχωση με ένα έμπλαστρο. Η εταιρεία εργάζεται σε έναν διαδερμικό βιοαισθητήρα που διαβάζει αναλύματα αίματος μέσω του δέρματος χωρίς να τραβάει αίμα. Η τεχνολογία περιλαμβάνει μια φορητή ηλεκτρική συσκευή τύπου οδοντόβουρτσας που αφαιρεί αρκετά κύτταρα επιδερμίδας για να θέσει τη χημεία του αίματος του ασθενούς εντός της εμβέλειας σήματος ενός βιοαισθητήρα. Ο αισθητήρας συλλέγει μία ανάγνωση ανά λεπτό και στέλνει τα δεδομένα ασύρματα σε μια απομακρυσμένη οθόνη, ενεργοποιώντας ακουστικά συναγερμούς όταν τα επίπεδα εξέρχονται από το βέλτιστο εύρος του ασθενούς και παρακολουθούν τα επίπεδα γλυκόζης με την πάροδο του χρόνου.

#### **5.5.4) Ρομποτικά Check-Up**



**Εικόνα 46: Πραγματοποίηση εξέτασης σε ασθενή με τη χρήση ρομπότ και την απομακρυσμένη καθοδήγηση επιστήμονα ιατρού**

Ένας πυλώνας της μεταρρύθμισης της υγείας είναι η βελτίωση της πρόσβασης στην καλύτερη υγειονομική περίθαλψη για περισσότερους ανθρώπους. Η τεχνολογία είναι ένα οικονομικά αποδοτικό και όλο και ισχυρότερο μέσο για τη σύνδεση των κλινικών στις τεράστιες και ιατρικώς ανεπαρκείς αγροτικές περιοχές ανα την υφήλιο, με ιατρικά κέντρα μεγάλων πόλεων και τους ειδικούς τους. Η τηλεϊατρική είναι καλά καθιερωμένη ως εργαλείο ταξινόμησης και αξιολόγησης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αλλά τα νέα ιατρικά ρομπότ κινούνται ένα βήμα μπροστά - τώρα μπορούν να περιπολούν τους διαδρόμους των νοσοκομείων σε πιο συνηθισμένους κύκλους, να ελέγχουν τους ασθενείς σε διαφορετικούς χώρους και να διαχειρίζονται τα ατομικά διαγράμματα και τα ζωτικά σημεία τους χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση. Το ρομπότ RP-VITA Remote Presence που παράγεται από κοινού από την iRobot

Corp. και το InTouch Health είναι το πρώτο τέτοιο αυτόνομο ρομπότ απομακρυσμένης παρουσίας πλοήγησης για να δέχεται την εκκαθάριση του FDA για νοσοκομειακή χρήση. Η συσκευή είναι ένα κινητό καλάθι με αμφίδρομη οθόνη βίντεο και ιατρικό εξοπλισμό παρακολούθησης, προγραμματισμένο για ελιγμούς μέσω των πολυσύχναστων αιθουσών ενός νοσοκομείου.

### **5.5.5) Πένα ανίχνευσης Καρκίνου:**

Μια φορητή συσκευή που αναπτύχθηκε από μια διεπιστημονική ομάδα ερευνητών στη χημεία, τη μηχανική και την ιατρική στο Πανεπιστήμιο του Τέξας είναι σε θέση να εντοπίζει τον καρκίνο σε δευτερόλεπτα.

Ο έγκαιρος εντοπισμός του καρκίνου ένα κρίσιμο βήμα προς την αποτελεσματική θεραπεία. Ωστόσο, η υπάρχουσα μέθοδος ανίχνευσης καρκίνου, που ονομάζεται ανάλυση παγωμένης τομής, είναι αργή και ανακριβής σε ποσοστό έως και 10% των περιπτώσεων για κάποιους τύπους καρκίνου. Κάθε δείγμα μπορεί να διαρκέσει 30 λεπτά ή περισσότερο για να προετοιμαστεί και να ερμηνευθεί από παθολόγο, αυξάνοντας τον κίνδυνο λοίμωξης του ασθενούς και τον κίνδυνο παρατεταμένης αναισθησίας. Το "MasSpec Pen" εντοπίζει τον καρκίνο σε 10 δευτερόλεπτα.



**Εικόνα 47: Το MasSpec Pen σε εφαρμογή, σκανάροντας ένα δείγμα ιστού για τον εντοπισμό καρκινικών κυττάρων**



Τα ζωντανά κύτταρα παράγουν βιομόρια και εκείνα στα καρκινικά κύτταρα είναι ριζικά διαφορετικά από τα υγιή. Κάθε τύπος καρκίνου παράγει ένα μοναδικό σύνολο βιοδεικτών. Μια απλή επαφή της πένας με τον ύποπτο ιστό ή ακόμα και μια σταγόνα νερού που εξάγεται από αυτόν, επιτρέπει στη συσκευή να τραβήξει αυτούς τους βιοδείκτες, οι οποίοι κατόπιν αναρροφούνται μέσω σωληνώσεων σε ένα φασματόμετρο μάζας.

Το βιολογικό υλικό αναλύεται με λογισμικό που έχει στηριχτεί σε μια βάση δεδομένων μοριακών δακτυλικών αποτυπωμάτων που συγκεντρώθηκαν από 253 διαφορετικά δείγματα ανθρώπινου ιστού, συμπεριλαμβανομένων τόσο των φυσιολογικών όσο και των καρκινικών ιστών του μαστού, του πνεύμονα, του θυρεοειδούς και των ωοθηκών. Ανάλογα με το αν οι βιοδείκτες αντιστοιχούν σε ιστούς στη βάση δεδομένων, το λογισμικό επιστρέφει μια ετυμηγορία: Είτε κανονικός ιστός είτε καρκίνος. Οι δοκιμές σε δείγματα ιστών δείχνουν ότι η τεχνολογία είναι ακριβής 96 τοις εκατό των περιπτώσεων.

### **5.5.6) Philips Lumify – Φορητός υπερηχογράφος**

Στο άμεσο μέλλον, μια εγκυμονούσα θα μπορούσε να κάνει ένα υπερηχογράφημα στο σπίτι της, αποφεύγοντας τους κινδύνους και την ταλαιπωρία που ελοχεύουν κατά τη μετακίνησή της προς κάποιο ιατρείο ή νοσοκομείο. Ένας γιατρός, με ένα απλό σακίδιο, θα είχε στη διάθεσή του όλα τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να διαγνώσει τραυματίες σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή πρόσφυγες σε μεγάλους χώρους συγκέντρωσης. Όλα είναι πλέον δυνατά με τις φορητές συσκευές υπερήχων.

Εξετάζοντας την εξέλιξη των διαγνωστικών συσκευών, γίνεται φανερό πως ακολουθούν μια γενική τάση σχεδιασμού, όπου τα είδη για προσωπική χρήση γίνονται ολοένα και περισσότερο μικρογραφικά, ψηφιοποιημένα και με δυνατότητες συνδεσιμότητας. Κάτι που δε συνέβαινε στο παρελθόν, όπου ο τελικός στόχος των ιατρικών εργαλείων ήταν να μετρήσουν με κάποιο τρόπο τις παραμέτρους της υγείας και τα ζωτικά σημεία και να καταγράψουν τις μετρήσεις. Επί του παρόντος, το ερώτημα είναι πως μπορούν να γίνουν οι μετρήσεις αυτές με μεγαλύτερη ακρίβεια και με τρόπο πιο φιλικό προς τον ασθενή - ακόμη και σε τριτοκοσμικές χώρες, απομακρυσμένες περιοχές ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζονται τα σύγχρονα διαγνωστικά μηχανήματα, στηρίζει αυτούς τους στόχους. Την εποχή που ο Δρ. Karl Theodore Dussik εργάστηκε σε έρευνα υπερήχων στον ανθρώπινο εγκέφαλο στην Αυστρία το 1942, τα όργανα κάλυπταν σχεδόν το χώρο ενός ολόκληρου δωματίου. Η χρήση της τεχνολογίας άρχισε λίγο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ενώ η ταχεία εξέλιξη του υπερηχογραφήματος μπορεί να παρατηρηθεί από τη δεκαετία του 1960 και έπειτα. Το μέγεθος της συσκευής μειώθηκε σταδιακά και η κινητικότητα



βελτιώθηκε. Τα πρώτα φορητά μηχανήματα υπερήχων εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 2000 και η απόδοσή τους βελτιώνεται κάθε χρόνο. Επιπλέον, το iStore έχει τώρα εφαρμογή για τηλεσυντογραφία και η NASA έχει αναπτύξει ένα εικονικό πρόγραμμα καθοδήγησης για υπερυχογράφους που εκτελούν υπερήχους στο διάστημα.

Πέρα από το υπερηχογράφημα, πολλές άλλες διαγνωστικές συσκευές έχουν μετατραπεί σε gadget μεγέθους ανάλογου της παλάμης, όπως για παράδειγμα το Viatom Checkme Pro ή το Clinicloud και το Eko Core, αντικαθιστώντας το παραδοσιακό στηθοσκόπιο. Η Philips Lumify θα μπορούσε να εκπληρώσει τις υποσχέσεις της για να μετατρέψει με επιτυχία τα smartphones και τα tablet σε μηχανές υπερήχων.

Αυτό που προσφέρει λοιπόν η Philips, είναι το Lumify. Όλο το πακέτο, περιλαμβάνει τρεις διαφορετικούς μορφοτροπείς, ένα tablet της Samsung με εγκατεστημένη την αντίστοιχη εφαρμογή Lumify. Ο τρόπος λειτουργίας; Απλός. Ο γιατρός συνδέει, ενσύρματα, στο tablet τον μορφοτροπέα που απαιτείται αναλόγως με την εξέταση, ανοίγει την εφαρμογή και άμεσα πραγματοποιεί διάγνωση.



***Εικόνα 48: Philips Lumify***

### **5.5.7) Ψηφιακά Τατουάζ**

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ιατρικών συσκευών, γεννήθηκε μια γενική τάση: τα εργαλεία να γίνονται όλο και πιο μικροσκοπικά, ψηφιοποιημένα και με δυνατότητες συνδεσιμότητας από ποτέ. Ενώ στο παρελθόν, ο απώτερος στόχος των ιατρικών οργάνων ήταν να μετρήσουν με κάποιο τρόπο τις παραμέτρους της υγείας ή να καταγράψουν με κάποιο τρόπο μετρήσεις, επί του παρόντος, το ερώτημα είναι πώς να μετρήσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια, πιο εύκολα και απλά χρησιμοποιώντας σωστά σχεδιασμένα μέσα.

Οστόσο, η θριαμβευτική πορεία των αισθητήρων και των φορητών συσκευών υγείας δεν σταματάει να δημιουργεί ολοένα και πιο μικροσκοπικές συσκευές, όπως τα έξυπνα ρολόγια και βραχιόλια ή ακόμα και ρούχα εφοδιασμένα με μικροτσιπ. Οι ομοιόμορφοι, λεπτοί και μη αναγνωρίσιμοι με γυμνό μάτι, αισθητήρες από εύκαμπτα υλικά εμφανίζονται πρώτα συνυφασμένοι με τα ρούχα μας, έπειτα στο δέρμα μας ως ψηφιακά τατουάζ ή στα αιμοφόρα αγγεία μας ως νανορομπότ.

Στην αθλητική ιατρική, υπάρχουν ήδη ψηφιοποιημένα ενδύματα για τη βελτίωση της απόδοσης. Για παράδειγμα, η Hexoskin ανέπτυξε ένα πουκάμισο με αισθητήρες, που υφαίνονται σε αυτό, που μετρά τον καρδιακό ρυθμό, αναπνέοντας, μετράει τα βήματα, το ρυθμό και τις θερμίδες που καίγονται. Επιπλέον, οι ερευνητές που ασχολούνται με τη νανοτεχνολογία, πειραματίζονται με ρομπότ εξαιρετικά μικρού μεγέθους - μικρότερου από ένα χιλιοστό - που κυριολεκτικά κολυμπούν μέσα από τα σωματικά σας υγρά. Και η FDA ενέκρινε το πρώτο ψηφιακό χάπι με ψηφιακό σύστημα εντοπισμού κατάποσης το 2017.

Με την ανάπτυξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης καθώς και των τεχνολογιών εκτύπωσης κυκλωμάτων, έγιναν δυνατή η δημιουργία των λεγόμενων ψηφιακών ή ηλεκτρονικών τατουάζ στο ανθρώπινο δέρμα για μερικές μέρες ή και εβδομάδες. Ορισμένοι ειδικοί πιστεύουν ότι αυτά τα τατουάζ είναι μόνο η αρχή και η ευρεία εφαρμογή τους αναμένεται στο άμεσο μέλλον. Τα τατουάζ αυτά αποτελούνται από εύκαμπτα, αδιάβροχα υλικά που είναι αδιαπέραστα στο τέντωμα και το στρίψιμο και σε συνδυασμό με τα μικροσκοπικά ηλεκτρόδια που περιέχουν, είναι σε θέση να καταγράφουν και να μεταδίδουν πληροφορίες στο χρήστη, σε smartphones ή άλλες συνδεδεμένες συσκευές.

Καθώς τα μικροσκοπικά έμπλαστρα μπορούν να μετρήσουν τις ηλεκτροφυσιολογικές παραμέτρους, θα μπορούσαν να επιτρέψουν σε εμπειρογνώμονες της υγειονομικής περίθαλψης να παρακολουθούν και να διαγνώσουν κρίσιμες καταστάσεις υγείας, όπως καρδιακή αρρυθμία, καρδιακές δραστηριότητες πρόωρων νεογνών, διαταραχές ύπνου και μη ερεθιστικές δραστηριότητες του εγκεφάλου. Επιπλέον, με την παρακολούθηση ζωτικών σημείων 24 ώρες την ημέρα, χωρίς την ανάγκη φορτιστή, είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την παρακολούθηση ασθενών με υψηλό κίνδυνο εγκεφαλικού επεισοδίου. Το ψηφιακό τατουάζ θα μπορούσε να στείλει ειδοποιήσεις σε ιατρικά συστήματα, μπορεί να ειδοποιήσει κάποιο ασθενοφόρο ή τους συγγενείς του χρήστη σε περίπτωση ανάγκης και να μεταδώσει και σχετικά δεδομένα.



Εικόνα 49: Πιθανή μορφή ενός ψηφιακού τατουάζ στο μέλλον

Στο μέλλον, μικροσκοπικά έμπλαστρα θα μπορούν να παρακολουθούν τις κινήσεις των μυών γύρω από την ομιλία, όταν εφαρμόζονται στο λαιμό, ενδεχομένως μετατρέποντας τα τατουάζ στο μισό ενός ασύρματου hands-free kit. Δεδομένου ότι δεν χρειάζεται να μιλήσει ο χρήστης δυνατά, θα μπορούσε να πάρει και υπο-φωνητικές εντολές. Ακολουθούν μερικά πρότζεκτς και ερευνητικές προσπάθειες που έχουν ήδη κάνει τα ψηφιακά τατουάζ, πραγματικότητα.

➤ MC10:

Η εταιρεία Cambridge της Μασαχουσέτης είναι η πιο γνωστή επιχείρηση που ειδικεύεται στην έρευνα των ψηφιακών τατουάζ τα τελευταία δέκα χρόνια. Ο John Rogers και η ερευνητική του ομάδα έθεσαν τις βάσεις για την επαναστατική τεχνολογία στα εύκαμπτα ηλεκτρονικά, στα οποία βασίζεται η λειτουργία του MC10. Η εταιρεία αναπτύσσει συσκευές από πυρίτιο με μέγεθος της ανάλογο του πλάτους μιας ανθρώπινης τρίχας, χρησιμοποιεί ελαστικά μεταλλικά διασυνδέματα και ελαστικά πολυμερή για να σχηματίσει πλήρη τροφοδοτούμενα συστήματα που ανιχνεύουν, μετρούν, αναλύουν και κοινοποιούν πληροφορίες.

Το 2016, το MC10 κυκλοφορεί στο εμπόριο τον αισθητήρα BioStampRC, ένα αδιάβροχο έμπλαστρο που μοιάζει με ταινία που κολλάει στο δέρμα και παρακολουθεί την κίνηση, τις μυικές επιδόσεις ή την καρδιακή δραστηριότητα. Το μικροσκοπικό αυτό έμπλαστρο έχει ακόμη ραδιόφωνο, Bluetooth και μια μικροσκοπική μπαταρία.



**Εικόνα 50: Το έμπλαστρο BioStampRC**

➤ **Ηλεκτρονικά Τατουάζ με βάση το γραφένιο (ή γραφίνη):**

Μια ομάδα ερευνητών που εδρεύουν στο Πανεπιστήμιο του Τέξας δημιούργησε τα γραφένια και σχεδόν διαφανή τατουάζ και δημοσίευσε το έργο τους πέρυσι. Ενώ οι ερευνητές χρησιμοποιούν συνήθως χρυσό σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, εδώ, εφάρμοσαν το γραφένιο - ένα πιο αγώγιμο, εκατοντάδες φορές λεπτότερο υλικό που επιτρέπει τη βέλτιστη δυνατή ένωση με το ανθρώπινο δέρμα.

Λόγω των μοναδικών ηλεκτρονικών ιδιοτήτων του γραφένιου, αυτά τα έμπλαστρα λειτουργούν σαν φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, επιτρέποντας βιομετρικές χρήσεις, όπως η παρακολούθηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου, της καρδιάς και των μυών. Τα τατουάζ θα επιτρέπουν ακόμη και στον χρήστη να αλληλεπιδρά άμεσα με τα μηχανήματα. Αυτά τα τατουάζ προσφέρουν πλήρη λειτουργικότητα για αρκετές ημέρες, αλλά μπορούν να αφαιρεθούν απλά με ένα κομμάτι κολλητικής ταινίας.



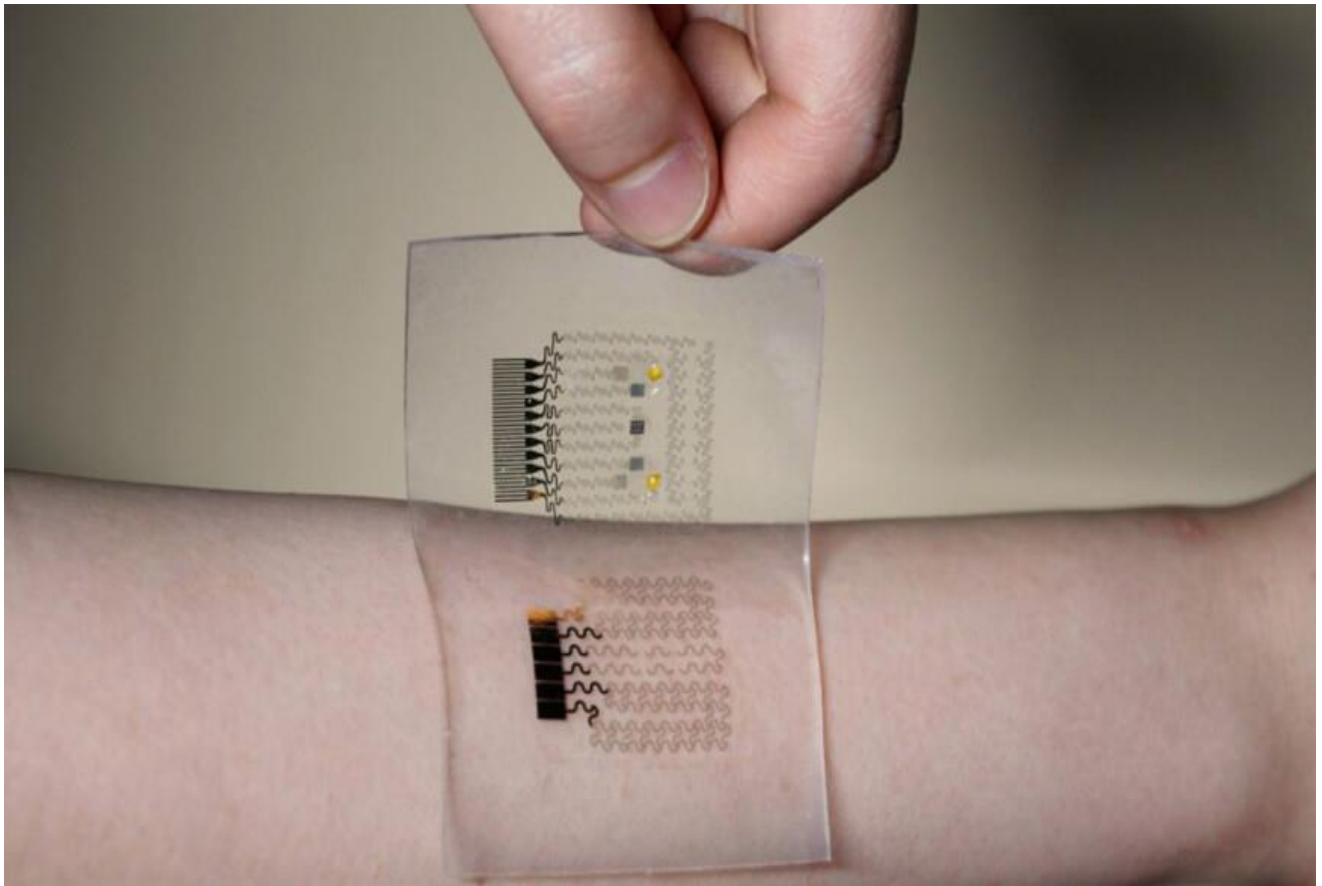
***Εικόνα 51: Τατουάζ με βάση τη γραφίνη***

➤ Τατουάζ ελέγχου της γλυκόζης:

Οι νανοηλεκτρονικοί στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας του Σαν Ντιέγκο έχουν αναπτύξει ένα προσωρινό τατουάζ που πραγματοποιεί δειγματοληψία και μετρά το επίπεδο γλυκόζης στο υγρό ανάμεσα στα κύτταρα του δέρματος. Η εύκαμπτη αυτή συσκευή αποτελείται από ηλεκτρόδια με προσεγμένη σχεδίαση που εκτυπώνονται σε προσωρινό χαρτί - τατουάζ. Τα δυο ηλεκτρόδια εφαρμόζουν μια μικρή ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος που αναγκάζει τα μόρια γλυκόζης που βρίσκονται κάτω από το δέρμα να ανεβαίνουν στην επιφάνεια, επιτρέποντας τη μέτρηση του σακχάρου στο αίμα. Την άνοιξη του 2018, το ερευνητικό κέντρο ξεκίνησε μια κλινική δοκιμή με 50 ενήλικες ηλικίας 18 έως 75 ετών με διαβήτη τύπου 1 ή 2. Ελπίζουν ότι μια μέρα το μη επεμβατικό, διακριτικό αυτό ψηφιακό τατουάζ μπορεί να αντικαταστήσει τις τακτικές εξετάσεις αίματος με την κλασική μέθοδο τρυπήματος του δαχτύλου.



Κάποιοι ερευνητές της Νότιας Κορέας έχουν δημιουργήσει κάτι παρόμοιο με τη βοήθεια του γραφένιου. Ο καθηγητής Dae-Hyeong Kim του Εθνικού Πανεπιστημίου της Σεούλ και μια ομάδα ερευνητών κατασκευάζουν ειδικούς αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύσουν τη θερμοκρασία και τη χημική σύνθεση του ιδρώτα των ατόμων με π.χ. διαβήτη τύπου 2. Στη συνέχεια στέλνουν τα δεδομένα που συλλέγουν σε μια ειδική εφαρμογή για smartphone. Αν το σύστημα συμπεράνει ότι οι χρήστες χρειάζονται φάρμακο με βάση την κατάσταση του ιδρώτα τους, η εφαρμογή υπολογίζει την ποσότητα του απαραίτητου φαρμακευτικού σκευάσματος που πρέπει να χορηγηθεί στον χρήστη. Η μικροσκοπική συστοιχία του έμπλαστρου έπειτα εγχέει τη σωστή αυτή ποσότητα στο σώμα.



**Εικόνα 52: Τατουάζ ελέγχου της γλυκόζης – Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια – Σαν Ντιέγκο**

### **5.5.7) Υπερυπολογιστής Clara – Nvidia**

Υπάρχουν περίπου 3 εκατομμύρια ιατρικά όργανα απεικόνισης εγκατεστημένα σε όλο τον κόσμο. Με μόνο μερικές εκατοντάδες χιλιάδες καινούργια μηχανήματα που πωλούνται κάθε χρόνο, θα χρειαστούν δεκαετίες για να ενημερωθεί αυτή η βάση εγκατάστασης.

Το πρόγραμμα Clara της NVIDIA, ένας υπερυπολογιστής ιατρικής απεικόνισης, ανανεώνει τις δυνατότητες αυτών των μηχανημάτων. Τα ιατρικά όργανα απεικόνισης έχουν ζωτική σημασία για την έγκαιρη ανίχνευση και τη βελτίωση των αποτελεσμάτων των ασθενών για περισσότερο από τέσσερις δεκαετίες. Η καινοτομία στον τομέα προέρχεται από βελτιώσεις στην τεχνολογία ανιχνευτών και, πιο πρόσφατα, την παράλληλη επεξεργασία υπολογιστών.

Μια δεκαετία πριν, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι GPU (επεξεργαστές) της NVIDIA παρέχουν την πιο αποτελεσματική αρχιτεκτονική για εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης και θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία, στη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας και στην παραγωγή εικόνων σε πραγματικό χρόνο. Πιο πρόσφατα, κυριαρχεί η βαθιά εκμάθηση (γνωστή και ως βαθιά δομημένη μάθηση ή ιεραρχική μάθηση – μέθοδος μηχανικής μάθησης), με περισσότερες από τις μισές νέες έρευνες σε εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης να περιλαμβάνουν AI (τεχνητή νοημοσύνη).

Οι υπολογιστικοί μετατροπείς παιχνιδιών όπως η επαναληπτική ανασυγκρότηση CT και η συμπιεσμένη ανίχνευση MR μειώνουν την έκθεση στην ακτινοβολία έως και 90% και μειώνουν τον χρόνο που χρειάζεται για να ληφθεί μια εικόνα μαγνητικής τομογραφίας.

Η βαθιά εκμάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη δημιουργούν συναρπαστικές ευκαιρίες για προηγμένη ανάλυση εικόνας και ποσοτικοποίηση. Ένας πρόσφατος αλγόριθμος που ονομάζεται V-Net χρησιμοποιεί τρισδιάστατη ογκομετρική κατάτμηση και μπορεί αυτόματα να μετρήσει τον όγκο του αίματος που ρέει μέσα από την καρδιά. Πριν από δεκαπέντε χρόνια, αυτός ο αλγόριθμος θα χρειαζόταν έναν υπολογιστή που κοστίζει 10 εκατομμύρια δολάρια και κατανάλωνε ενέργεια 500 KW.

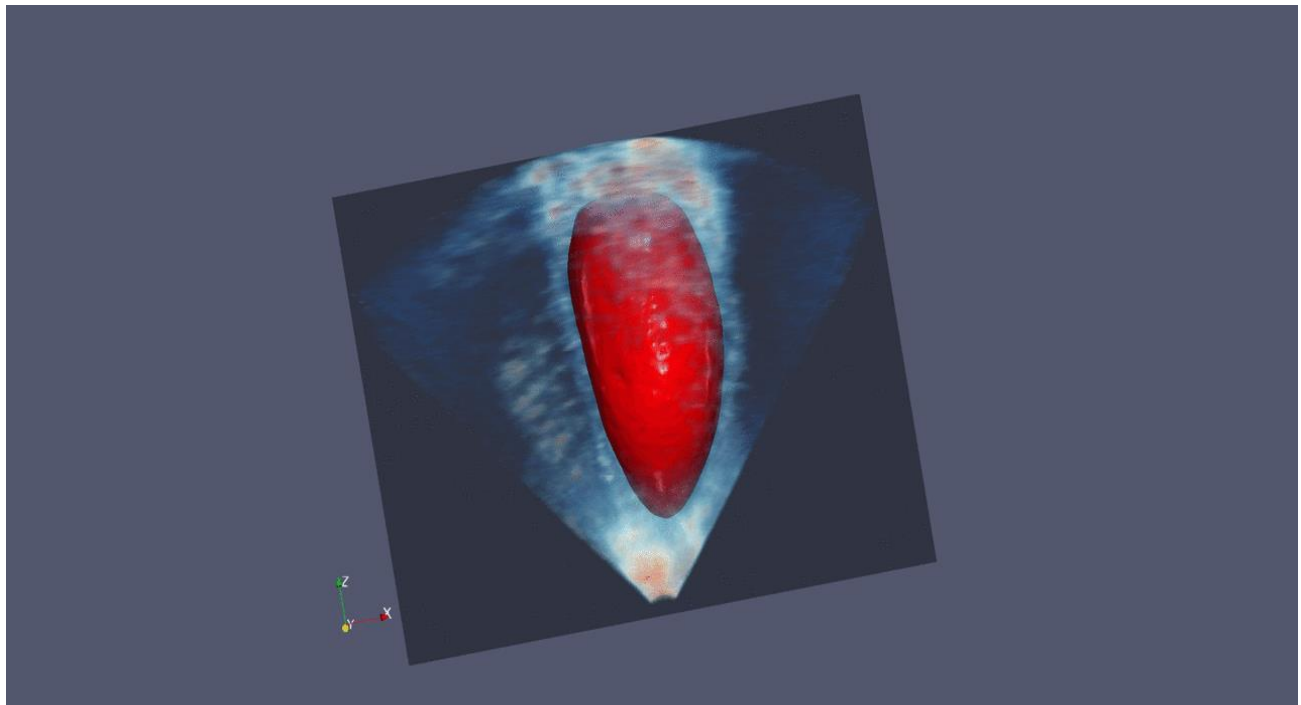
Η Clara είναι εικονική: μπορεί να τρέξει ταυτόχρονα πολλά υπολογιστικά όργανα. Η Clara έχει τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου: χρησιμοποιεί τα NVIDIA vGPUs για να επιτρέψει πρόσβαση σε πολλούς χρήστες. Η Clara έχει τέραστια συμβασιμότητα: μπορεί να εκτελέσει τον υπολογισμό για οποιοδήποτε όργανο, είτε CT, MR, υπερηχογράφημα, ακτινογραφία ή μαστογραφία.

Ποικίλες εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, όπως το AutoMap και το V-Net που αναφέρθηκε πρωτίτερα, προσφέρουν ανυπολόγιστη αξία στην ακτινολογία. Το AutoMap, από το κέντρο MGH Martinos, μπορεί να μειώσει τον χρόνο απόκτησης της μαγνητικής τομογραφίας και να αυξήσει την ποιότητα της εικόνας. Το V-Net μπορεί να μετρήσει αυτόματα την ανατομία και να αξιολογήσει τη λειτουργικότητα. Η κινηματογραφική απόδοση που πρωτοστάτησε από τον Elliot Fishman στο πανεπιστήμιο Johns Hopkins φέρνει ένα νέο επίπεδο ποιότητας,



εξοικονομώντας έτσι χρόνο για τους ακτινολόγους και βελτιώνοντας τα αποτελέσματα των ασθενών.

Οι σύγχρονες εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης απαιτούν νέα επίπεδα υπολογιστικής, κλίμακας και προσβασιμότητας. Η υπολογιστή πλατφόρμα Clara, σύμφωνα με τα λεγόμενα της κατασκευάστριας εταιρείας Nvidia, μπορεί να φέρει την επανάσταση στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης.



**Εικόνα 53: Αυτό το 3D υπερηχογράφημα απεικονίζει την αριστερή κοιλία της καρδιάς που είναι κατακερματισμένη από το V-Net, ένα πλήρως συνεκτικό τρισδιάστατο νευρωνικό δίκτυο που τρέχει σε μια GPU Tesla V100.**

# Βιβλιογραφία

---

## Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

- Anonymous, “ $\mu$ A741 frequency – compensated operational amplifier” Mountain View, CA: Fairchild Semiconductor, 1973
- Aronson, M. H., “Lock in and carrier amplifiers”, Med. Electron, 1977
- Brown, F.M., H.J. Hall, and J.Kosar, “Photographic systems for engineers”, Washington: Society of photographic scientists and engineers, 1966
- Brooks, R.A., and G.Di Chiro, “Principles of computer assisted tomography (CAT) in radiographic and radioisotopic imaging”, Phys. Med. Biol., 1976, σελ. 689-732
- Cobbold, R.S.C., “Transducers for biomedical measurements – Principles and applications”, New York: Wiley, 1974
- Cromwell L., Weidbell, F.J., Pfeiffer E.A., and Usselmann L.B., “Biomedical instrumentation and measurements”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1973
- Geddes, L.A. and L.E. Baker, “Principles of applied biomedical instrumentation” 2<sup>nd</sup> edition, New York:Wiley, 1975
- Graeme, J.G., “Applications of operational amplifiers” New York: McGraw-Hill, 1974
- Harvey, G.F. (ed.) “Transducer compendium” 2<sup>nd</sup> edition, New York: Plenum, 1969
- Hudson – Tiner, John, “Exploring the History of Medicine”, Master Books, 1999
- King, D.L. “Diagnostic Ultrasound”. St Louis: Mosby, 1974
- Plonsey, R. “The biophysical basis for electrocardiography”, Crit. Rev. Bioeng., 1971, σελ. 1-48
- Siedband, M.P. “Electronic Imaging Devices”, AAPM Summer School, 1971
- Svez, P. and Duane, N. “The  $\alpha \beta \gamma$  of bioelectric measurements” Electron. Des., August 1975
- Wait, J.V., Huelsman L.P. and Korn, G.A. “Introduction to operational amplifier theory and applications”, New York: McGraw – Hill, 1975
- Webster, John G., “Medical Instrumentation – Application and Design”, Houghton Mifflin Company, 1978
- Wells, P.N.T., “Physical principles of ultrasonic diagnosis” London, New York: Academic press, 1975

## Ελληνόφωνη Βιβλιογραφία

- Βαρσαμίδης, Κ, “Στοιχεία Βιοϊατρικής Απεικόνισης”, Univeristy Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2005
- Κ. Κυπαρισσίδης, Ο. Καμμώνα, “Εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας στον Τομέα της Υγείας”, Δελτίο ΠΣΧΜ Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2011.

- Κουτσούρης, Δ., Παυλόπουλος, Σ., Πριέντζα, Α., "Εισαγωγή στη βιοϊατρική τεχνολογία και ανάλυση ιατρικών σημάτων", Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2003
- Μέγκος, Ν., "Απεικονιστική ακτινοτεχνολογία: κλασσική, αξονική, μαγνητική, πυρηνική, οστική πυκνότητα, τηλεϊατρική, υπέρηχοι", Εκδόσεις Έλλην, Αθήνα 1996
- Σεργιάδης, Γ., "Βιοϊατρική Τεχνολογία", University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2009