



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής

Πτυχιακή Εργασία

**Υπέρυθρη Απεικονιστική Θερμογραφία σε ασθενείς με
μυοσκελετικές παθήσεις**

**ΠΥΡΓΙΔΟΥ ΕΥΠΡΑΞΙΑ-ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ
Α.Μ. 48014083**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΣΚΟΥΡΟΛΙΑΚΟΥ, Καθηγήτρια, Τμήμα
Μηχανικών Βιοϊατρικής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

**ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2023**

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Η επιβλέπουσα καθηγήτρια

Αικατερίνη Σκουρολιάκου

Νεκτάριος Καλύβας

Παναγιώτης Λιαπαρίνος

Καθηγήτρια

Αν. Καθηγητής

Αν. Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Πυργίδου Ευπραξία-Αλεξάνδρα του Αλέξανδρου, με αριθμό μητρώου 48014083 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ημερομηνία

Ο/Η Δηλών/ούσα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιείται η υπέρυθρη απεικονιστική θερμογραφία σε ασθενείς με προβλήματα του μυοσκελετικού συστήματος. Στην παρούσα εργασία αποσκοπείται η ανάδειξη της σημασίας της Υπέρυθρης Απεικονιστικής Θερμογραφίας. Η χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας σε κλινικές δοκιμές είναι αρκετά διαδεδομένη και έχει χρησιμοποιηθεί για διάγνωση και παρακολούθηση πολλών ασθενειών. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, μελετήθηκαν ασθενείς με μυαλγίες πριν και μετά την επιβολή τους σε ηλεκτροθεραπεία. Για τις μετρήσεις της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η θερμοκάμερα FLIR ONE Pro ® και η επεξεργασία των εικόνων έγινε στο αντίστοιχο λογισμικό FLIR TOOLS ®. Οι μετρήσεις έδειξαν διαφορετική κατανομή θερμοκρασίας των ασθενών πριν και μετά τη θεραπεία. Από την παρούσα εργασία αναδεικνύεται η σημασία της υπέρυθρης θερμογραφίας.

Λέξεις Κλειδιά: υπέρυθρη απεικονιστική θερμογραφία, μυοσκελετικό σύστημα, ηλεκτροθεραπεία

ABSTRACT

In the present thesis, infrared thermal imaging is used in patients with problems of the musculoskeletal system. The present thesis aims at highlighting the significance of Infrared Thermography. The use of infrared thermography in clinical trials is quite widespread and has been used to diagnose and monitor many diseases. In the context of the present work, patients with myalgias were studied before and after being subjected to electrotherapy. A FLIR ONE Pro ® thermal camera was used for the experiments and the images were processed in the corresponding FLIR TOOLS® software. The measurements showed a different temperature distribution of the patients before and after the treatment. The importance of infrared thermography emerges from the results.

Keywords: infrared imaging thermography, musculoskeletal system, electrotherapy

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|----|
| Εισαγωγή | 9 |
| 1. Ανατομία Μυοσκελετικού Συστήματος..... | 10 |
| 1.1. Αυχένιας | 10 |
| 1.2. Ωμοπλάτη..... | 15 |
| 2. Θεραπευτικές Παρεμβάσεις | 22 |
| 2.1. Ηλεκτροθεραπεία | 22 |
| 2.2. Θεραπεία υπερήχων | 23 |
| 3. Θερμογραφία Υπερύθρου..... | 25 |
| 3.1. Αρχές λειτουργίας της υπέρυθρης θερμογραφίας..... | 25 |
| 3.2. Θερμογραφία Υπερύθρου στην Ιατρική: Βιβλιογραφική ανασκόπηση | 27 |
| 4. Μεθοδολογία | 40 |
| 4.1. Συσκευή Ηλεκτροθεραπείας | 40 |
| 4.2. Θερμοκάμερα | 41 |
| 4.3. Πειραματική διαδικασία..... | 42 |
| 5. Αποτελέσματα | 43 |
| 5.1. Ασθενής #1..... | 43 |
| 5.2. Ασθενής #2..... | 45 |
| 5.3. Ασθενής #3..... | 46 |
| 6. Συζήτηση Αποτελεσμάτων | 49 |
| 7. Συμπεράσματα | 61 |
| Βιβλιογραφία | 62 |
| Παράρτημα | 64 |

Κατάλογος εικόνων και πινάκων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1. Ανατομία της αυχενικής μοίρας (Πηγή: https://my.clevelandclinic.org/health/articles/22278-cervical-spine) | 10 |
| Εικόνα 2. Ανατομία ενός σπονδύλου (Πηγή: https://www.manchesterspinalclinic.co.uk/surgical-treatments.html)..... | 12 |
| Εικόνα 3. Απεικόνιση των μυών του αυχένα (Πηγή: https://uwspace.uwaterloo.ca/)..... | 12 |
| Εικόνα 4. Μύες εν τω βάθει (Πηγή: https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/teaching/1663700640.pdf) | 14 |
| Εικόνα 5. Αναπαράσταση της σπονδυλικής στήλης σε τρεις όψεις (Πηγή: https://dr-christopoulos.de/el/spondylisch-sthlh/) | 16 |
| Εικόνα 6. Μύες της σπονδυλικής στήλης (Πηγή: https://www.physio-pedia.com/Rotatores_Muscles) | 20 |
| Εικόνα 7. Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροθεραπείας (Πηγή: www.fadavis.com) | 23 |
| Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας θεραπευτικών υπερήχων (Πηγή: https://www.online-sciences.com/health/ultrasound-therapy-us-features-types-advantages-disadvantages/)..... | 24 |
| Εικόνα 9. Επιγραμματική απεικόνιση του φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας (πάνω) Εστίαση στα μήκη κύματος που αξιοποιούνται κατά τη θερμογραφία (κάτω) (Πηγή: www.testco.com) | 26 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 10. Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός θερμογράφου (Πηγή: https://www.bestech.com.au/) | 26 |
| Εικόνα 11. Διάγραμμα ροής μελέτης ασθενών με θρομβώσεις [11] | 27 |
| Εικόνα 12. Θερμογράφημα αμέσως μετά το δάγκωμα (αριστερά) και λίγη ώρα μετά (δεξιά) ... | 28 |
| Εικόνα 13. Θερμογράφημα κατά τη μελέτη ασθενών με καρκίνο του μαστού [13] | 29 |
| Εικόνα 14. Θερμογράφημα ασθενούς με κροταφογοναθικές διαταραχές [14] | 30 |
| Εικόνα 15. Θερμογράφημα ασθενούς με αγγειίτιδα πριν τη θεραπεία (πάνω) και μετά τη θεραπεία (κάτω)..... | 31 |
| Εικόνα 16. Διάγνωση στένωσης της καρωτίδας με τη χρήση υπερήχων (αριστερά) και τη χρήση θερμογραφίας υπερήχων (δεξιά)..... | 32 |
| Εικόνα 17. Παρακολούθηση του συνδρόμου Emery-Dreifuss με τη χρήση θερμογραφίας υπερύθρου..... | 33 |
| Εικόνα 18. Θερμογράφημα χεριών (σπασμένου και υγιούς) ενός ασθενούς από την έρευνα [20] | 34 |
| Εικόνα 19. Τρόπος αξιολόγησης των θερμογραφημάτων σε περιπτώσεις βρεφικού αγγειώματος | 35 |
| Εικόνα 20. Θερμογράφημα ασθενούς της έρευνας [22]..... | 36 |
| Εικόνα 21. Θερμογράφημα ασθενούς κατά τη διάρκεια ασκήσεων αποκατάστασης..... | 37 |
| Εικόνα 22. Τραυματισμός στο δεξί πόδι (α) θερμογράφημα, (b) κανονική λήψη, (c) ακτινογραφία της κάκωσης | 37 |
| Εικόνα 23. Τραυματισμός στις φάλαγγες (α) θερμογράφημα, (b) κανονική λήψη, (c) ακτινογραφία της κάκωσης | 38 |
| Εικόνα 24. Τραυματισμός γύρω από τον αγκώνα (α) θερμογράφημα, (b) κανονική λήψη, (c) ακτινογραφία της κάκωσης | 38 |
| Εικόνα 25. Τραυματισμός στη φάλαγγα ποδιού (α) θερμογράφημα, (b) κανονική λήψη, (c) ακτινογραφία της κάκωσης | 38 |
| Εικόνα 26. Τραυματισμός στον αστράγαλο (α) θερμογράφημα, (b) κανονική λήψη, (c) ακτινογραφία της κάκωσης | 39 |
| Εικόνα 27. Πρόσοψη της συσκευής ηλεκτροδιέγερσης GLOBUS ACTIVA 700..... | 40 |
| Εικόνα 28. Πρόσοψη της θερμοκάμερας FLIR ONE PRO | 41 |
| Εικόνα 29. Φωτογραφία από το λογισμικό FLIR Tools..... | 42 |
| Εικόνα 30. Φωτογραφίες της ασθενούς #1 σε μορφή θερμικού χάρτη | 44 |
| Εικόνα 31. Φωτογραφίες του ασθενή #2 σε μορφή θερμικού χάρτη | 46 |
| Εικόνα 32. Φωτογραφίες του ασθενή #3 σε μορφή θερμικού χάρτη (πριν την επιπλέον θεραπεία) | 47 |
| Εικόνα 33. Φωτογραφία του ασθενούς #3 μετά τη θεραπεία υπερήχων..... | 48 |
| Εικόνα 34. Θερμικοί χάρτες ασθενούς σε λήψεις από διαφορετικές γωνίες και αποστάσεις [25]. | 49 |
| Εικόνα 35. Σύγκριση των ασθενών #2 και #3 πριν τη θεραπεία | 50 |
| Εικόνα 36. Θερμογράφημα γυναίκας ασθενούς [26] | 51 |
| Εικόνα 37. Θερμογράφημα της ασθενούς πριν τη θεραπεία (αριστερά) και μια βδομάδα μετά τη θεραπεία (δεξιά) | 52 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Εικόνα 38. Επεξεργασία φωτογραφιών της ασθενούς #1, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία με σημειωμένα συγκεκριμένα σημεία πόνου.....</i> | <i>53</i> |
| <i>Εικόνα 39. Επεξεργασία φωτογραφιών της ασθενούς #1, μετά τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία με σημειωμένα συγκεκριμένα σημεία πόνου.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Εικόνα 40. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #2, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Εικόνα 41. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #2, μετά τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Εικόνα 42. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #3, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Εικόνα 43. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #3, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.....</i> | <i>58</i> |
| | |
| <i>Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της συσκευής ηλεκτροδιέγερσης GLOBUS ACTIVA 700.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της θερμοκάμερας FLIR ONE PRO.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Πίνακας 3. Μέση τιμή μετρήσεων (ασθενής #1).....</i> | <i>44</i> |
| <i>Πίνακας 4. Μέση τιμή μετρήσεων (ασθενής #2).....</i> | <i>46</i> |
| <i>Πίνακας 5. Μέση τιμή μετρήσεων (ασθενής #3).....</i> | <i>47</i> |
| <i>Πίνακας 6. Επεξεργασία θερμογραφημάτων της ασθενούς #1-συνοπτικά αποτελέσματα.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Πίνακας 7. Επεξεργασία θερμογραφημάτων του ασθενούς #2-συνοπτικά αποτελέσματα.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Πίνακας 8. Επεξεργασία θερμογραφημάτων του ασθενούς #3-συνοπτικά αποτελέσματα.....</i> | <i>58</i> |

Εισαγωγή

Η Υπέρυθρη Απεικονιστική Θερμογραφία είναι μια παθητική, μη επεμβατική τεχνική που επιτρέπει την ανίχνευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα σώμα και στη συνέχεια την απεικόνισή της με τη μορφή θερμικού χάρτη κατανομής των θερμοκρασιακών μεταβολών στην επιφάνειά του.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιείται η εν λόγω τεχνική για την εξαγωγή της θερμικής κατανομής θερμοκρασιακών μεταβολών σε ασθενείς με προβλήματα του μυοσκελετικού συστήματος. Σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει τη σημασία της Υπέρυθρης Απεικονιστικής Θερμογραφίας, όπως άλλωστε προκύπτει και από την εκτεταμένη διεθνή βιβλιογραφία επί του θέματος.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- 1) Στο πρώτο μέρος παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την υπέρυθρη θερμογραφία (αρχές λειτουργίας, εφαρμογές στην ιατρική), αλλά και σχετικά με το μυοσκελετικό σύστημα και με τις θεραπευτικές παρεμβάσεις που εφαρμόζονται σε ασθενείς με μυοσκελετικές παθήσεις.
- 2) Στο δεύτερο μέρος καταγράφεται η πειραματική διαδικασία, που περιλαμβάνει τις διατάξεις και τα βήματα της μελέτης.
- 3) Στο τρίτο μέρος παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις σε ασθενείς με παθήσεις του μυοσκελετικού συστήματος.

Αν και η εφαρμογή της Υπέρυθρης Απεικονιστικής Θερμογραφίας είναι πάρα πολύ διαδεδομένη διεθνώς, η εργασία αυτή αποσκοπεί στη συμβολή και τον εμπλουτισμό της ελληνικής βιβλιογραφίας επί του θέματος.

1. Ανατομία Μυοσκελετικού Συστήματος

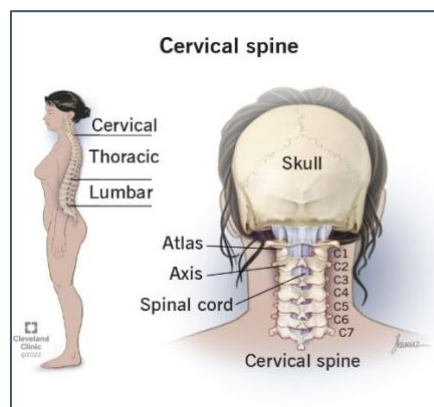
1.1. Αυχένιας

Αυχενική Μοίρα

Το ανώτερο τμήμα της σπονδυλικής στήλης, η αυχενική μοίρα, είναι μια πολύπλοκη δομή οστών, δίσκων, μυών, συνδέσμων, νεύρων και τενόντων. Πρόκειται για μια πολυλειτουργική δομή που μεταξύ άλλων, προστατεύει τον νωτιαίο μυελό, παρέχει αίμα στον εγκέφαλο και επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα κινήσεων, υποστηρίζοντας το κεφάλι και το λαιμό [3].

Η αυχενική μοίρα αποτελείται από επτά οστά-σπονδύλους (C1 έως C7) με μοναδικό σχήμα για την προστασία του νωτιαίου μυελού που κατεβαίνει από τη βάση του κρανίου και τα νωτιαία νεύρα ή τη ρίζα που εξέρχονται από τη σπονδυλική στήλη μεταξύ κάθε ομάδας οστών. Επεκτείνεται από τη βάση του κρανίου ως την κορυφή των ώμων και διαθέτει τους μικρότερους σε μέγεθος από όλους τους υπόλοιπους σπονδύλους [4].

Ο άτλαντας (C1) και ο άξονας (C2) αναφέρονται ως «άτυποι σπόνδυλοι» επειδή έχουν χαρακτηριστικά που τους ξεχωρίζουν από την υπόλοιπη αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης. Αποτελούν μέρος της κρανιοσπονδυλικής συμβολής της σπονδυλικής στήλης (CVJ), όπου η βάση του εγκεφάλου γίνεται μέρος της σπονδυλικής στήλης, ενώ συνεργαζόμενοι, αυτοί οι σπόνδυλοι είναι υπεύθυνοι για περίπου το 50% της κάμψης και το 50% της περιστροφής του κεφαλιού [3].



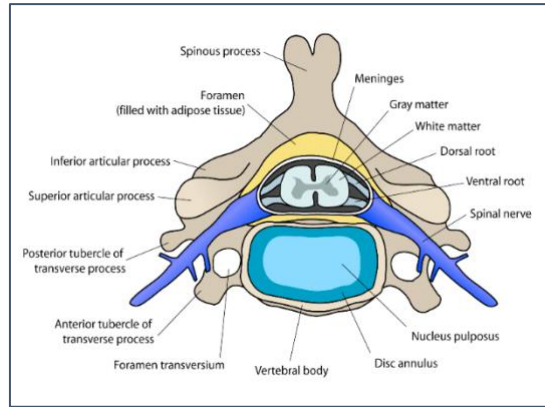
Εικόνα 1. Ανατομία της αυχενικής μοίρας (Πηγή: <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/22278-cervical-spine>)

Οι αυχενικοί σπόνδυλοι C3-C7 είναι παρόμοιοι σε σχήμα και λειτουργία και είναι γνωστοί ως «τυπικοί» σπόνδυλοι. Τα σπονδυλικά σώματα έχουν στρογγυλά σχήματα. Στο πίσω μέρος του σπονδυλικού σώματος υπάρχουν οστέινα τόξα που προεξέχουν προς τα έξω για να σχηματίσουν τις πλευρικές αρθρώσεις και τις ακανθώδεις αποφύσεις. Αυτά τα οστέινα στοιχεία δημιουργούν φυσικά ένα κοίλο άνοιγμα στο κέντρο της αυχενικής σπονδυλικής στήλης που στεγάζει και προστατεύει τον νωτιαίο μυελό [5].

- ❖ Η αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης έχει 6 μεσοσπονδύλιους δίσκους (IVD). Βρίσκονται μεταξύ κάθε 2 αυχενικών σπονδύλων ξεκινώντας κάτω από το C2 (άξονας). Οι δίσκοι είναι ισχυροί εύκαμπτοι ιστοί ινοχόνδρου που αποτελούνται από δύο συστατικά:
 - Τον Πηκτοειδή πυρήνα: εσωτερική δομή που μοιάζει με «ζελέ» και παίζει σημαντικό ρόλο στην απόσβεση των κραδασμών και τη διατήρηση της σταθερής απόστασης μεταξύ των σπονδύλων
 - Τον Ινώδη δακτύλιο: το εξωτερικό τμήμα του δίσκου, ο οποίος περιβάλλει τον πηκτοειδή πυρήνα.

Κάθε δίσκος λειτουργεί για να συγκρατεί τον άνω και τον κάτω σπόνδυλο μαζί. Ενώ η κίνηση σε ένα επίπεδο δίσκου είναι ελάχιστη, όλοι οι σπόνδυλοι και οι δίσκοι μαζί επιτρέπουν ένα σημαντικό εύρος κίνησης στη σπονδυλική στήλη.

Το ύψος του δίσκου δημιουργεί κενά μεταξύ των σπονδύλων ,νευρικές διόδους που ονομάζονται τρήματα ή νευροτρήματα, που σχηματίζονται και στις δύο πλευρές. Οι ρίζες των νωτιαίων νεύρων διακλαδίζονται από το νωτιαίο μυελό, ανά ζεύγη, και αφήνουν τη σπονδυλική στήλη μέσω του τρήματος. Από εκεί, τα νεύρα διακλαδίζονται σε διάφορες περιοχές του σώματος για να συλλάβουν τις αισθήσεις και να μεταφέρουν τα σήματα στον εγκέφαλο. Αναμεταδίδουν επίσης εγκεφαλικά σήματα για τον έλεγχο της κίνησης στα χέρια, τα πόδια και τον κορμό.

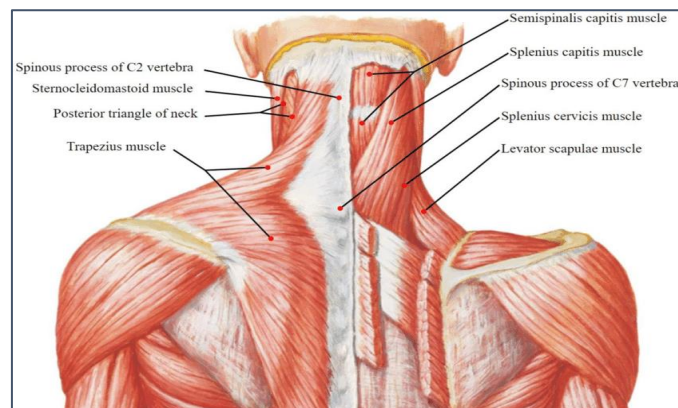


Εικόνα 2. Ανατομία ενός σπονδύλου (Πηγή: <https://www.manchesterspinalclinic.co.uk/surgical-treatments.html>)

Μύες Αυχένα

Η αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης περιλαμβάνει 27 σκελετικούς μύες σε ζεύγη, τα οποία είναι συμμετρικά ως προς το οβελιαίο επίπεδο. Οι μύες, μαζί με το νευρικό σύστημα, χρησιμεύουν ως ενεργοποιητές ελέγχου στατικής ισορροπίας και δυναμικής κίνησης. Χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κύριες ομάδες αυχενικών μυών:

- Τους αυχενικούς καμπτήρες (επιφανειακοί και εν τω βάθει)
- Τους εκτεινόντες αυχένα (επιφανειακοί, ενδιάμεσοι και εν τω βάθει)
- Τους υποϊνιακούς μύες (εν τω βάθει)



Εικόνα 3. Απεικόνιση των μυών του αυχένα (Πηγή: <https://uwspace.uwaterloo.ca/>)

Οι πιο επιφανειακοί καμπτήρες μύες της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης περιλαμβάνουν τους στερνοκλειδομαστοειδείς και τους σκαληνούς:

- Οι στερνοκλειδομαστοειδείς μύες εκφύονται από το στήρνο και την κλείδα, μεταξύ των οποίων σχηματίζεται ο υπερκλείδιος βόθρος και έπειτα καταφύονται στη μαστοειδή

απόφυση. Με την εναλλάξ κάμψη τους, έχουν την ιδιότητα να στρέφουν το πρόσωπο προς την αντίθετη πλευρά. Με τη συγχρονισμένη ενέργειά τους, προκαλείται έκταση της κεφαλής.

- Οι σκαληνοί μύες χωρίζονται σε πρόσθιο, μέσο και οπίσθιο. Βρίσκονται πλάγια του τραχήλου και της σπονδυλικής στήλης, ενώ αποτελούν το έδαφος του υπερκλείδιου βόθρου.

Οι εν τω βάθει καμπτήρες περιλαμβάνουν τον επιμήκη τραχηλικό (*longus colli*) και τον επιμήκη κεφαλικό (*longus capitis*) μυ. Παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση και στον έλεγχο της αυχενικής λόρδωσης (φυσική καμπυλότητα του αυχένα).

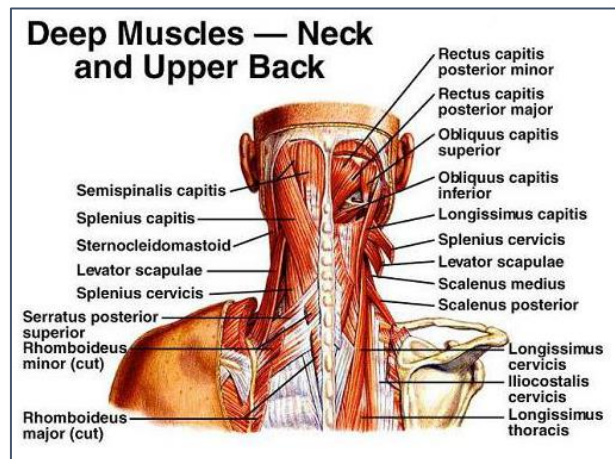
Συνεχίζοντας με τους εκτεινόντες μύες, από τα πιο επιφανειακά έως τα βαθύτερα στρώματα, υπάρχουν 4 κατηγορίες:

- Ανεκκτήρας της ωμοπλάτης και άνω τραπεζοειδής που θεωρούνται κυρίως μύες της ωμικής ζώνης και ωστόσο σχηματίζουν ένα επιφανειακό στρώμα πάνω από την ομάδα εκτεινόντων μυών του αυχένα. Ο άνω τραπεζοειδής νευρώνεται από μια νωτιαία ρίζα του επικουρικού νεύρου και ο ανεκκτήρας από το ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης.
- Σπληνιοειδής κεφαλικός και σπληνιοειδής αυχενικός (*Splenus capitis* και *splenus cervicis*) που δρουν αμφίπλευρα ως εκτεινόντες και ομόπλευρα για την παραγωγή περιστροφής. Νευρώνονται από τις ραχιαίες διακλαδώσεις των μεσαίων αυχενικών νωτιαίων νεύρων.
- Ο ημιακανθώδης κεφαλικός μυς (*Semispinalis capitis*) είναι κυρίως εκτεινών και συμβάλλει στη δημιουργία πλάγιας κάμψης. Τόσο αυτός όσο και ο ημιακανθώδης αυχενικός μυς (*Semispinalis cervicis*) νευρώνονται από τις ραχιαίες διακλαδώσεις των αυχενικών νωτιαίων νεύρων.
- Ημιακανθώδης Αυχενικός μυς και πολυσχιδικός μυς (*Semispinalis cervicis* και *multifidus*). Αποτελούν την ομάδα των εγκαρσιακανθώδων μυών (*transversospinalis*) και αναφέρονται ως οι εν τω βάθει εκτεινόντες του αυχένα. Ο πρώτος δρα ως εκτεινών μυς του αυχένα και ο δεύτερος ως τμηματικός σταθεροποιητής. Παρέχουν οπίσθια υποστήριξη της αυχενικής λόρδωσης σε συνεργασία με τους εν τω βάθει καμπτήρες του αυχένα και αποτρέπουν την κίνηση της κεφαλής προς τα εμπρός. Νευρώνονται από τις ραχιαίες διακλαδώσεις των αυχενικών νωτιαίων νεύρων.

Οι επόμενοι τέσσερις μύες σχηματίζουν την υποϊνιακή μυϊκή ομάδα και ανήκουν στους εν τω βάθει αυχενικούς εκτεινόντες.

- Μείζων οπίσθιος ορθός κεφαλικός μυς (Rectus capitis posterior major). Είναι υπεύθυνος για την έκταση κεφαλής και την ομόπλευρη περιστροφή.
- Ελλάσων οπίσθιος ορθός κεφαλικός μυς (Rectus capitis posterior minor). Εκτελεί όμοια λειτουργία με τον μείζονα οπίσθιο ορθό κεφαλικό μυ.
- Μείζων λοξός κεφαλικός μυς (Obliquus capitis superior). Συμβάλλει στην έκταση κεφαλής και στην πλάγια κάμψη.
- Κατώτερος λοξός κεφαλικός μυς (Obliquus capitis inferior). Φροντίζει για την ομόπλευρη περιστροφή κεφαλής-λαιμού.

Αξίζει να σημειωθεί η σημαντικότητα της υποϊνιακής ομάδας στον έλεγχο της κраниοαυχενικής λόρδωσης και στις μικρές κινήσεις κεφαλής-αυχένα. Μια πιθανή δυσλειτουργία έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της αίσθησης των κινήσεων, μειωμένη ισορροπία, εσφαλμένη αίσθηση της θέσης της άρθρωσης καθώς και αλλοίωση του οφθαλμοκινητικού ελέγχου. Όλοι αυτοί οι μύες νευρώνονται από το υποϊνιακό νεύρο C1.



Εικόνα 4. Μύες εν τω βάθει (Πηγή: <https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/teaching/1663700640.pdf>)

1.2. Ωμοπλάτη

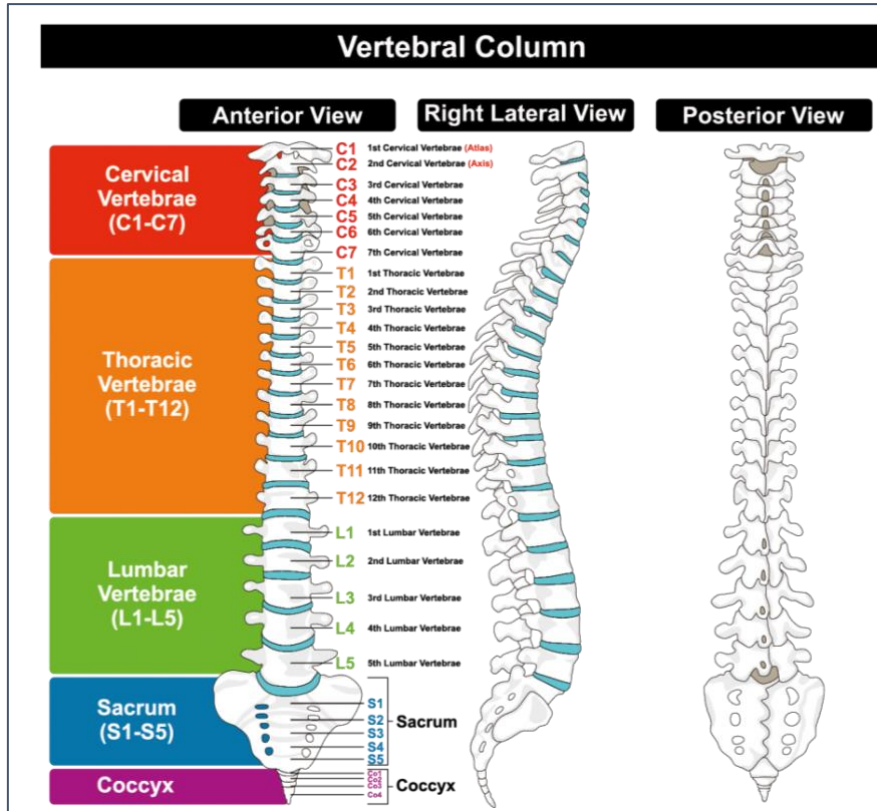
Θωρακική Μοίρα

Η θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης αποτελείται από 12 σπονδύλους (T1-T12), στοιβαγμένους ο ένας πάνω στον άλλο. Αυτοί οι σπόνδυλοι παίζουν σημαντικό δομικό ρόλο και συμβάλλουν στη στιβαρότητα της σπονδυλικής στήλης της θωρακικής περιοχής που στηρίζει τον αυχένα, το θώρακα, τους μαλακούς ιστούς, το νωτιαίο μυελό, τις εύκαμπτες αρθρώσεις, τα αιμοφόρα αγγεία και τα νεύρα [6].

Αξίζει να αναφερθεί ο υποστηρικτικός ρόλος της θωρακικής μοίρας, καθώς συγκρατεί τον θωρακικό κλωβό, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την προστασία ζωτικών οργάνων όπως η καρδιά, οι πνεύμονες κλπ.

Ενώ η θωρακική σπονδυλική στήλη είναι λιγότερο ευκίνητη από τον αυχένα και το κάτω μέρος της πλάτης, το εύρος κίνησης μπορεί να ποικίλλει σημαντικά σε διαφορετικά επίπεδα. Τα περισσότερα από αυτά έχουν περιορισμένες κινήσεις προς τα εμπρός/πίσω και πλάγια, αλλά σημαντικά μεγαλύτερη ικανότητα για αξονική περιστροφή. Αυτό ανατρέπεται κοντά στο κάτω μέρος της θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης με αυξημένο εύρος κίνησης για κινήσεις προς τα εμπρός/πίσω και προς τα πλάγια, αλλά με μειωμένη ικανότητα αξονικής περιστροφής.

Ορισμένοι ειδικοί σημειώνουν ότι περίπου στο επίπεδο T7-T8, οι σπόνδυλοι σταδιακά γίνονται περισσότερο σαν οσφυϊκοί σπόνδυλοι σε μέγεθος και σχήμα, επιτρέποντας αλλαγές στο εύρος κίνησης. Αυτές οι αλλαγές γίνονται ακόμη πιο έντονες στο T10-T11 και κάτω, επειδή αυτά τα επίπεδα διαθέτουν επιφάνειες που δεν συνδέονται με το θωρακικό τοίχωμα.



Εικόνα 5. Αναπαράσταση της σπονδυλικής στήλης σε τρεις όψεις (Πηγή: <https://dr-christopoulos.de/el/spondylikh-sthlh/>)

Οσφυϊκή Μοίρα

Η οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης αποτελείται από 5 σπονδύλους (L1 έως L5), οι οποίοι αυξάνονται προοδευτικά σε μέγεθος κατεβαίνοντας προς το κάτω μέρος της πλάτης. Οι σπόνδυλοι συνδέονται με αρθρώσεις στο πίσω μέρος για να επιτρέψουν την κάμψη και την περιστροφή της σπονδυλικής στήλης. Προστατεύουν τον νωτιαίο μυελό και την ιπποειδή ουρά.

Είναι υπεύθυνη για τη στήριξη και την σταθερότητα του πάνω μέρους του σώματος, ενώ ελέγχει και τις κινήσεις των ποδιών. Η φυσική της καμπυλότητα, βοηθά στην ομοιόμορφη κατανομή του βάρους και στη μείωση συγκέντρωσης των επιμέρους τάσεων. Μία αύξηση ή μείωση της καμπυλότητας αυτής μπορεί να προκαλέσει πόνο στη μέση.

Η οσφυϊκή μοίρα συνδέεται με τη θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης πάνω στη θωρακοοσφυϊκή άρθρωση και την ιερή σπονδυλική στήλη κάτω στην οσφυοϊερή άρθρωση. Τα τμήματα της οσφυϊκής κίνησης μπορεί να επηρεαστούν από συγγενείς, εκφυλιστικές, τραυματικές ή φλεγμονώδεις διαταραχές.

Ιερό οστό και Κόκκυγας

Το ιερό οστό είναι ένα τριγωνικό οστό που σχηματίζεται από τη σύντηξη των πέντε ιερών σπονδύλων (S1-S5). Αυτά τα πέντε σπονδυλικά σώματα αρχίζουν να συγχωνεύονται μεταξύ τους από κάτω προς τα πάνω σε ηλικία περίπου 17-18 ετών, ενώ η συνοστέωση έχει ολοκληρωθεί στα 23 χρόνια. Διαθέτει 8 πρόσθια ιερά τμήματα, τα πρόσθια ιερά αριστερά και δεξιά, 4 στην κάθε πλευρά. Από αυτά περνούν τα νεύρα του νωτιαίου μυελού, τα οποία νευρώνουν τα όργανα της πυέλου, ενώ φροντίζει για τη μεταφορά του σωματικού βάρους από τον κορμό στη λεκάνη και τα κάτω άκρα.

Ο κόκκυγας, επίσης γνωστός ως ουραίο κόκκαλο, θεωρείται ότι είναι ένα υπόλειμμα ουράς και είναι το τελικό τμήμα της σπονδυλικής στήλης. Αποτελείται από 3-5 σπονδύλους και διαθέτει μόνο το 0,4% του ξηρού βάρους της σπονδυλικής στήλης. Το μήκος του κόκκυγα ποικίλλει μεταξύ των ατόμων, αλλά περίπου το 10% αυτής της διαφοράς σχετίζεται με το ύψος. Ο πρώτος του σπόνδυλος είναι συνήθως ο μεγαλύτερος και αρθρώνεται με το ιερό οστό, ενώ σε ορισμένους ανθρώπους συνοστεώνεται με αυτό.

Μύες Ωμοπλάτης

Οι μύες της πλάτης χωρίζονται ανατομικά σε επιφανειακούς (εξωγενείς) και εν τω βάθει (εσωτερικούς) μύες. Οι εξωγενείς δρουν για να παράγουν κινήσεις του ώμου και να βοηθήσουν την αναπνοή. Οι ενδογενείς μύες της πλάτης βρίσκονται βαθύτερα, χωρισμένοι από τους εξωγενείς με τη θωρακοσφυϊκή περιτονία και προσδέονται στις αρθρώσεις της σπονδυλικής στήλης. Οι επιφανειακοί μύες της πλάτης περιλαμβάνουν τον τραπεζοειδή, τον πλατύ ραχιαίο, τον ανεγκτήρα ωμοπλάτης, τους ρομβοειδείς και τους οπίσθιους οδοντωτούς μύες.

- Ο τραπεζοειδής μυς αποτελείται από τρία μέρη: το φθίνον, το εγκάρσιο και το ανοδικό. Βρίσκεται μεταξύ του ινιακού οστού, της ωμοπλάτης, των σπονδύλων και της κλείδας, οριοθετώντας την αυχενική περιοχή. Νευρώνεται από το επικουρικό νωτιαίο νεύρο (CN XI) και την πρόσθια διακλάδωση του C3-C4 μέσω του αυχενικού πλέγματος. Κινεί την ωμοπλάτη και προκαλεί έκταση, πλάγια κάμψη και περιστροφή της κεφαλής και του λαιμού.

- Ο πλατύς ραχιαίος είναι επίσης πολυμερής, διαθέτοντας σπονδυλικό, λαγόνιο, πλευρικό, ωμοπλατιαίο και βραχιόνιο τμήμα. Νευρώνεται από το θωρακικό νεύρο. Οι λειτουργίες του είναι η εσωτερική περιστροφή, η προσαγωγή και η επέκταση του βραχίονα, ενώ υποβοηθά και την αναπνοή.
- Ο ανελκτήρας ωμοπλάτης εκτείνεται από τους σπονδύλους C1-C4 μέχρι το έσω όριο της ωμοπλάτης. Νευρώνεται από το πρόσθιο άκρο των νωτιαίων νεύρων C3-C4 και το ραχιαίο ωμοπλατιαίο νεύρο. Αυτός ο μυς έλκει την ωμοπλάτη υπερέσω, περιστρέφει τον γληνοειδή βόθρο της άρθρωσης του ώμου προς τα κάτω και κάμπει τον αυχένα ομόπλευρα.
- Ο ρομβοειδής μυς διαιρείται στους ρομβοειδή μείζονα και ρομβοειδή ελάσσονα. Ο πρώτος εκτείνεται μεταξύ των σπονδύλων T2-T5 και του έσω ορίου της ωμοπλάτης. Ο τελευταίος συνδέεται από τον αυχενικό σύνδεσμο και τους σπονδύλους C7-T11 στη ρίζα της σπονδυλικής στήλης της ωμοπλάτης. Νευρώνονται από το ραχιαίο ωμοπλατιαίο νεύρο. Και οι δύο μύες προσδέονται στην ωμοπλατιαία άρθρωση όπου τραβούν την ωμοπλάτη υπερέσω, υποστηρίζουν τη θέση της και περιστρέφουν τη γληνοειδή κοιλότητα προς τα κάτω.
- Οι οπίσθιοι οδοντωτοί μύες διαιρούνται στον ανώτερο οπίσθιο οδοντωτό και στον κατώτερο οπίσθιο οδοντωτό μυ. Ο πρώτος εκτείνεται μεταξύ του αυχενικού συνδέσμου, των σπονδύλων C7-T3 και των πλευρών 2-4. Η λειτουργία του είναι να ανυψώνει τα πλευρά. Ο δεύτερος εκτείνεται από τους σπονδύλους T11-L2 και τις νευρώσεις 9-12. Είναι υπεύθυνος για την αποσυμπίεση των πλευρών . Και οι δύο μύες νευρώνονται από το πρόσθιο άκρο των νωτιαίων νεύρων T9-T12 (γνωστά και ως Μεσοπλεύρια νεύρα 9-11 και υποπλεύριο νεύρο 12).

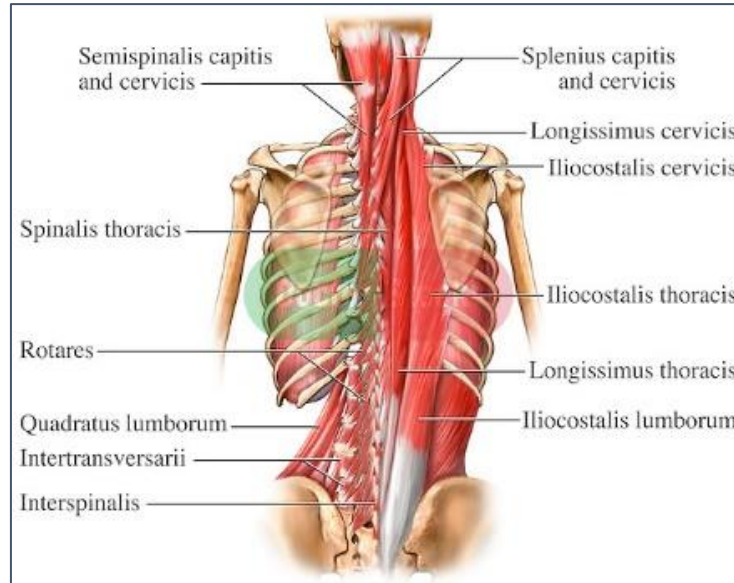
Οι εσωτερικοί μύες της ωμοπλάτης χωρίζονται σε τρία στρώματα: το επιφανειακό, το ενδιάμεσο και το εν τω βάθει στρώμα.

Το επιφανειακό στρώμα περιέχει τους μύες του τραχήλου, τους σπληνιοειδείς αυχενικούς και τους σπληνιοειδείς κεφαλικούς μύες, όπως αναφέρονται και παραπάνω(βλ.). Επεκτείνουν και περιστρέφουν το κεφάλι και το λαιμό. Η ενδιάμεση στιβάδα περιέχει τους μύες της σπονδυλικής στήλης, των οποίων πολλές λειτουργίες περιλαμβάνουν την έκταση και την πλάγια κάμψη της σπονδυλικής στήλης, της κεφαλής και του αυχένα. Το βαθύ στρώμα αποτελείται από τους εγκάρσιους μύες. Οι λειτουργίες τους περιλαμβάνουν την επέκταση, την

πλάγια κάμψη και την περιστροφή της κεφαλής και της σπονδυλικής στήλης. Όλοι οι εγγενείς μύες νευρώνονται από τους οπίσθιους κλάδους των νωτιαίων νεύρων.

Μύες της σπονδυλικής στήλης (Ενδιάμεσοι μύες):

- Λαγονοπλευρικός - *Iliocostalis*: Είναι ένας βαθύς μυς της ωμοπλάτης που μαζί με το μήκιστο και τον ακανθώδη μυ, συγκροτούν τη μυϊκή ομάδα του ιερονωτιαίου σπονδυλικού τμήματος. Αυτοί οι τρεις μύες του είναι διατεταγμένοι σε διαμήκεις χορδές, με το λαγονοπλευρικό να τοποθετείται πλάγια και προς τα έξω και το μήκιστο και τον ακανθώδη να τοποθετούνται διαδοχικά προς τα έσω. Ο λαγονοπλευρικός μυς χωρίζεται στο οριζόντιο επίπεδο, σε τρία περιφερειακά τμήματα, ανάλογα με την ανατομική περιοχή που βρίσκεται το καθένα (αυχενικός, θωρακικός, οσφυϊκός). Ο ρόλος του είναι να επεκτείνει τη σπονδυλική στήλη όταν συστέλλεται αμφοτερόπλευρα και να κάμπτει πλευρικά τη σπονδυλική στήλη όταν συστέλλεται μονόπλευρα.
- Μήκιστος – *Longissimus*: Είναι ο μακρύτερος, παχύτερος και πιο κεντρικός ανορθωτής μυς της σπονδυλικής στήλης. Χωρίζεται σε κεφαλικό, αυχενικό και θωρακικό, ανάλογα με την ανατομική του θέση. Κύρια δράση του αποτελεί η επέκταση της σπονδυλικής στήλης και η πλάγια κάμψη. Επιπλέον, ο κεφαλικός μήκιστος μυς, είναι υπεύθυνος και για την περιστροφή της κεφαλής.
- Ακανθώδης – *Spinalis*: Ο ακανθώδης μυς ορίζεται ως το έσω τμήμα της μυϊκής ομάδας που καταλαμβάνει το ιερονωτιαίο σπονδυλικό μέρος της σπονδυλικής στήλης, και τυπικά υποδιαιρείται σε τρεις επιπλέον μύες: τον αυχενικό, το θωρακικό και τον κεφαλικό ακανθώδη μυ.



Εικόνα 6. Μύες της σπονδυλικής στήλης (Πηγή: https://www.physio-pedia.com/Rotatores_Muscles)

Εγκάρσιοι μύες (Εν τω βάθει μύες):

- Ημιακανθώδης (κεφαλικός, αυχενικός, θωρακικός) - Semispinalis (capitis, cervicis, thoracic): Βρίσκεται σε κάθε πλευρά της σπονδυλικής στήλης που εκτείνεται από το ινιακό οστό μέχρι τον δέκατο θωρακικό σπόνδυλο (T10). Από τις τρεις υποκατηγορίες του, ο θωρακικός βρίσκεται πιο πολύ προς τα έσω, ενώ ο κεφαλικός κι ο αυχενικός πιο πλευρικά. Αυτοί οι μύες συμμετέχουν στην έκταση, την πλάγια κάμψη και την περιστροφή της κεφαλής, της αυχενικής και της θωρακικής σπονδυλικής στήλης.
- Πολυσχιδής – Multifidus: Αποτελεί τη μέση στοιβάδα των εγκάρσιων μυών και αποτελείται από βραχείες, τριγωνικές μυϊκές δεσμίδες που αυξάνονται σε πάχος με την επέκτασή τους προς την οσφυϊκή χώρα. Νευρώνεται από τους οπίσθιους κλάδους των νωτιαίων νεύρων, ενώ είναι πλούσιος σε ιδιο-υποδοχείς, γεγονός που τον καθιστά σημαντικό στην σταθεροποίηση της σπονδυλικής στήλης κατά την διάρκεια των εντοπισμένων κινήσεών της.
- Στροφείς – Rotatores: Αποτελούν τη βαθύτερη στοιβάδα της ομάδας και εντοπίζονται κυρίως στη θωρακική χώρα λόγω μεγαλύτερης ανάπτυξής τους στη συγκεκριμένη περιοχή. Νευρώνονται από τους οπίσθιους κλάδους των νωτιαίων νεύρων, ενώ παίζουν σημαντικό ρόλο στην σταθεροποίηση των σπονδύλων και στην έκταση και περιστροφή της σπονδυλικής στήλης. Αξίζει να σημειωθεί η ιδιοδεκτική ιδιότητά τους.

Διεισδύοντας σε ακόμα βαθύτερα επίπεδα, απαντώνται τρεις ακόμη μικρούς μύες της εν τω βάθει στοιβάδας:

- Μεσακάνθιοι – Interspinalis: Συνδέουν τις ακανθώδεις αποφύσεις, ενώ νευρώνονται από τους οπίσθιους κλάδους των νωτιαίων νεύρων. Υποβοηθούν την έκταση και την στροφή της σπονδυλικής στήλης.
- Μεσεγκάρσιοι – Intertransversarii: Συνδέουν τις ακανθώδεις αποφύσεις, ενώ νευρώνονται από τους οπίσθιους και τους πρόσθιους κλάδους των νωτιαίων νεύρων. Βοηθούν στην πλάγια κάμψη της σπονδυλικής στήλης δρώντας αμφοτερόπλευρα, καθώς και στη σταθεροποίησή της.
- Ανεκκτήρες των πλευρών – Levator Costarum: Αντιπροσωπεύουν τους οπίσθιους μεσεγκάρσιους μύες του λαιμού και νευρώνονται από τους οπίσθιους κλάδους των Α8-Θ11 νωτιαίων νεύρων. Ανοψώνουν τις πλευρές υποβοηθώντας την αναπνοή. Επιπλέον βοηθούν στην πλάγια κάμψη της σπονδυλικής στήλης.

2. Θεραπευτικές Παρεμβάσεις

2.1. Ηλεκτροθεραπεία

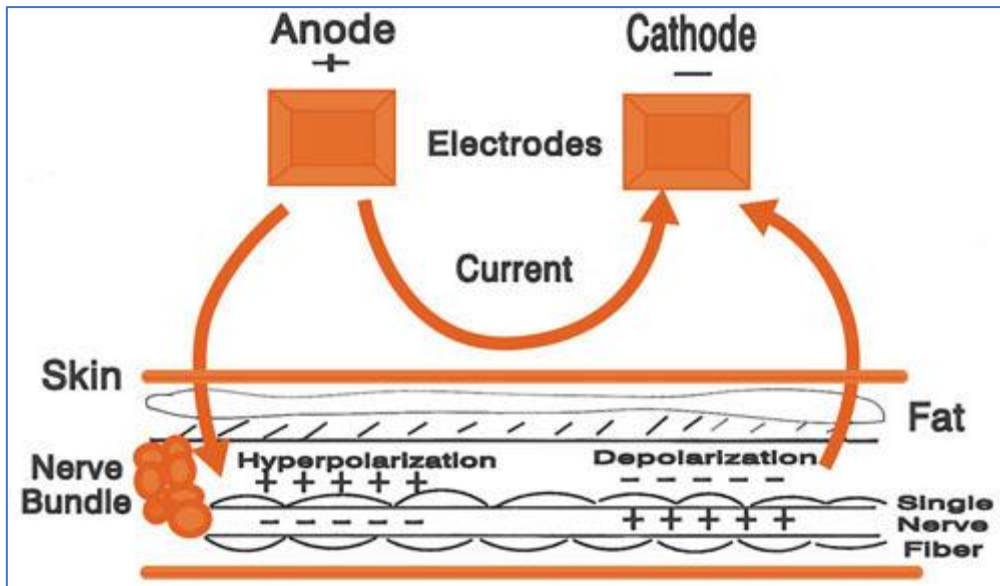
Η εφαρμογή ηλεκτρικής ενέργειας για θεραπευτικούς σκοπούς είναι γνωστή ως ηλεκτροθεραπεία. Η πρώτη της χρήση χρονολογείται μέσα του 19^{ου} αιώνα (1855), με πρωταγωνιστή τον Guillaume Duchenne, ο οποίος διαπίστωσε πως το εναλλασσόμενο ρεύμα ήταν ανώτερο από το συνεχές ρεύμα για να ενεργοποιήσει μυϊκές συσπάσεις και να χρησιμοποιηθεί για θεραπευτικούς σκοπούς.

Οι σύγχρονες εφαρμογές ηλεκτροθεραπείας τείνουν να χρησιμοποιούν χαμηλότερες «δόσεις» ρεύματος από ό,τι στο παρελθόν. Παρόλα αυτά, οι θεραπευτικές επιδράσεις υποτίθεται ότι είναι περισσότερες. Μια από τις αρχές που διέπουν πια την ηλεκτροθεραπεία είναι η αρχή της ελάχιστης παρέμβασης. Στην ηλεκτροθεραπεία, αλλά και σε άλλες θεραπευτικές τεχνικές (π.χ. υπέρηχοι), οι τρέχουσες δόσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνταν πριν λίγα χρόνια. Ο θεραπευτής αναζητεί τη «δόση κατωφλιού», δηλαδή την ελάχιστη δυνατή δόση για την οποία βλέπει ξεκάθαρο θετικό αποτέλεσμα, αλλά ταυτόχρονα δεν υπάρχουν ανεπιθύμητες παρενέργειες [7].

Μία από τις εφαρμογές αυτές που θα μας απασχολήσει και σε επόμενο κεφάλαιο, είναι η ηλεκτροθεραπεία TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation).

Η εφαρμογή ρευμάτων TENS είναι μια μέθοδος ηλεκτρικής διέγερσης που αποσκοπεί στη μείωση του πόνου. Πρόκειται για ρεύματα υψηλής συχνότητας και χαμηλής έντασης (συμβατικά TENS) που λειτουργούν καταπραϋντικά, καθώς ενεργοποιούν επιλεκτικά τις μη επιβλαβείς μυϊκές ομάδες του ασθενούς, χωρίς την ταυτόχρονη ενεργοποίηση των επιβλαβών, για την πρόκληση εξωτμηματικών μηχανισμών κατά του πόνου, μέσω καθοδικών οδών αναστολής του. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται κατά μήκος της σπονδυλικής στήλης του ασθενούς, στο σημείο που πραγματοποιείται νευρική σύνδεση με την πάσχουσα περιοχή [8].

Η παρακάτω εικόνα συνοψίζει την αρχή λειτουργίας της ηλεκτροθεραπείας.



Εικόνα 7. Αρχή λειτουργίας της ηλεκτροθεραπείας (Πηγή: www.fadavis.com)

2.2. Θεραπεία υπερήχων

Οι υπέρηχοι αξιοποιούνται πάνω από μισό αιώνα στην ηλεκτροθεραπεία. Οι εφαρμογές τους όμως δεν εμφάνιζαν πάντα την ίδια μορφή. Στις αρχικές τους εφαρμογές, αξιοποιούνται κυρίως λόγω της θερμικής τους επίδρασης. Σήμερα, εφαρμόζονται για τα μη-θερμικά τους αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή τους στην επούλωση ιστών [9].

Όταν τα υπερηχητικά κύματα διαδίδονται στου ιστούς, ένα κλάσμα της ακτινοβολίας απορροφάται, κάτι το οποίο οδηγεί στην αύξηση θερμοκρασίας εντός των ιστών. Το κλάσμα της ακτινοβολίας που απορροφάται σχετίζεται με τη φύση του ιστού, την παρουσία αγγείων και τη συχνότητα των κυμάτων. Γενικά, ιστοί με υψηλή περιεκτικότητα πρωτεΐνης έχουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα. Αντίθετη συμπεριφορά παρατηρείται σε ιστούς με αρκετό λίπος. Ακόμη, η απορροφητικότητα αυξάνεται με την αύξηση συχνότητας των κυμάτων [9].

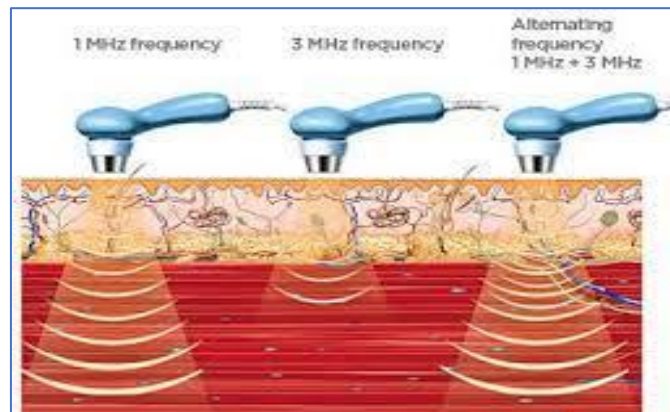
Έχει παρατηρηθεί ότι αν επιβάλλεται ελεγχόμενη θέρμανση για τουλάχιστον 5 λεπτά, οι ιστοί επηρεάζονται εμφανώς (θερμοκρασίες 40-45°C). Η ελεγχόμενη θέρμανση μπορεί να επιφέρει επιθυμητά αποτελέσματα, που περιλαμβάνουν ανακούφιση από τον πόνο, μείωση της ακαμψίας των αρθρώσεων και αυξημένη τοπική ροή αίματος. Αν και η ελεγχόμενη θέρμανση παρουσιάζει ορισμένες θετικές επιδράσεις, η εφαρμογή υπερήχων δεν είναι τόσο

αποτελεσματική για την επαρκή θερμική αλλαγή των ιστών, τουλάχιστον όταν τους εφαρμόζουμε σε συνηθισμένες δοσολογίες.

Στην ιατρική, οι υπέρηχοι έχουν αξιοποιηθεί γενικά για τα θερμικά τους αποτελέσματα, αλλά τα πιο σύγχρονα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα μη θερμικά τους αποτελέσματα μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά. Έχει παρατηρηθεί ότι ασθενείς που υποβάλλονται σε θεραπεία υπερήχων για συνεχόμενο χρονικό διάστημα και σε υψηλή συχνότητα υπερήχων, θα νιώσουν αλλαγή θερμοκρασίας κοντά στους θερμικούς υποδοχείς. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει σε ιστούς με μεγαλύτερο βάθος, δηλαδή δεν παρατηρείται η ίδια αλλαγή. Οι υπέρηχοι έχουν αξιοποιηθεί στη θεραπεία ιστών. Η διεργασία επούλωσης του ιστού είναι ένα σύνολο χημικών μεταβολών που καταλήγουν στην παραγωγή νέου ουλώδους ιστού. Ο νέος ιστός αντικαθιστά τελικά τον κατεστραμμένο ιστό [9].

Τα αποτελέσματα της θεραπείας υπερήχων κατά την επούλωση διαφοροποιούνται ανάλογα με τα «γεγονότα» που συμβαίνουν στους ιστούς. Για παράδειγμα, αμέσως μετά από ένα τραύμα ή όταν υπάρχει αιμορραγία, δε είναι κατάλληλη θεραπεία η χρήση υπερήχων. Αντίθετα, όταν σταματήσει η ροή του αίματος, τότε η εφαρμογή υπερήχων συνίσταται να αρχίσει αμέσως. Σε άλλο πλαίσιο, έχει παρατηρηθεί ότι οι υπέρηχοι έχουν διεγερτική επίδραση στα μαστοκύτταρα, στα αιμοπετάλια, στα λευκά αιμοσφαίρια με φαγοκυτταρικούς ρόλους και στα μακροφάγα.

Αν εφαρμοστεί σωστή δοσολογία και ρυθμιστούν βέλτιστα οι πειραματικές παράμετροι, τότε η επούλωση γίνεται ακόμα πιο αποτελεσματική. Το ιατρικό προσωπικό πρέπει να ρυθμίσει σωστά την ένταση, τον παλμό και το χρόνο δράσης. Αυτό φυσικά θα επιτευχθεί πιο αποτελεσματικά στους ιστούς που απορροφούν πιο αποδοτικά το αντίστοιχο ποσό ενέργειας.



Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας θεραπευτικών υπερήχων (Πηγή: <https://www.online-sciences.com/health/ultrasound-therapy-us-features-types-advantages-disadvantages/>)

3. Θερμογραφία Υπερύθρου

Η Υπέρυθρη Απεικονιστική Θερμογραφία είναι μια παθητική, μη επεμβατική τεχνική που επιτρέπει την ανίχνευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα σώμα και στη συνέχεια την απεικόνισή της με τη μορφή θερμικού χάρτη κατανομής των θερμοκρασιακών μεταβολών στην επιφάνειά του. Ο όρος «παθητική», αναφέρεται στο γεγονός ότι τα σώματα βρίσκονται σε ένα περιβάλλον υπό κανονικές, φυσικές συνθήκες, χωρίς την παρέμβαση κάποιας εξωτερικής πηγής θέρμανσης για την εκτέλεση της μεθόδου. Το μέσο που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας είναι μια υπέρυθρη κάμερα, για τη μετατροπή της υπέρυθρης ενέργειας σε ηλεκτρική και τη λήψη υπέρυθρων εικόνων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων [1].

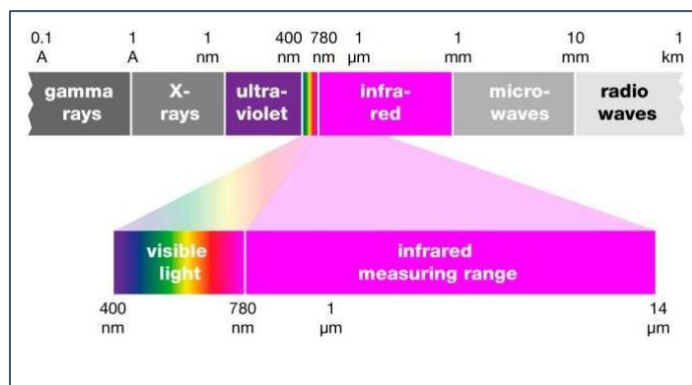
Στις υπέρυθρες εικόνες, δεν χρησιμοποιείται ,ως μέσο, ανακλώμενο φως για την απεικόνισή τους όπως στις συμβατικές, αλλά οι περιοχές ενδιαφέροντος χρωματίζονται με βάση έναν χρωματικό κώδικα-χάρτη που συσχετίζει θερμά και ψυχρά χρώματα με τιμές θερμοκρασίας, δημιουργώντας το λεγόμενο θερμόγραμμα [1].

Ο κλάδος της ιατρικής είναι από τους πρώτους που εισήγαγαν τον θερμογραφικό έλεγχο ως ένα διαγνωστικό μέσο εξέτασης ασθενών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η διάγνωση αυτή στηρίζεται στις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ θερμοκρασίας περιβάλλοντος και επιφανειακής θερμοκρασίας σώματος, διαφορές οι οποίες χρησιμοποιούνται και ως σημείο αναφοράς για την ανίχνευση πιθανών φλεγμονών, ανομοιογενειών, στην επιφάνεια του δέρματος, μέσω της απόκλισης των τιμών θερμοκρασιακής διαφοράς ως προς τις φυσιολογικές.

3.1. Αρχές λειτουργίας της υπέρυθρης θερμογραφίας

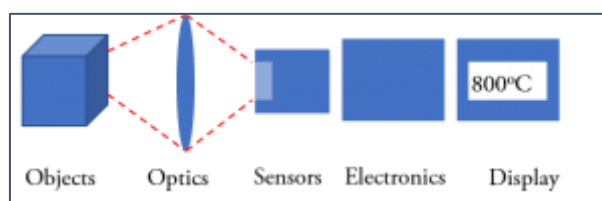
Η υπέρυθρη θερμογραφία βασίζεται στην αρχή του μέλανος σώματος. Σύμφωνα με τη σύγχρονη φυσική, ένα μέλαν σώμα εκπέμπει ακτινοβολία σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, αρκεί η θερμοκρασία του να ξεπερνάει το απόλυτο μηδέν ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία εξαρτάται από την ένταση και την επιφάνεια του σώματος [2].

Η υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελεί το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που βρίσκεται αμέσως μετά το κόκκινο φως, 760 nm , και εκτείνεται ως τα μήκη κύματος περίπου 1 mm .



Εικόνα 9. Επιγραμματική απεικόνιση του φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας (πάνω) Εστίαση στα μήκη κύματος που αξιοποιούνται κατά τη θερμογραφία (κάτω) (Πηγή: www.testco.com)

Οι αισθητήρες υπέρυθρων μετρούν τη θερμοκρασία με βάση την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από κάθε αντικείμενο σε θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν. Το μήκος κύματος και η συχνότητα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το αντικείμενο είναι αντιστρόφως ανάλογο και αντίστοιχα ανάλογο με την εγγενή του θερμοκρασία. Αυτή η ακτινοβολία συλλαμβάνεται μέσω των αισθητήρων και παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο με την ενέργεια ακτινοβολίας. Τα σήματα μεταφράζονται σε θερμοκρασία ανάλογα με το μέρος του φάσματος της ακτινοβολίας. Τα δεδομένα μπορούν να καταγραφούν μέσω καταγραφικού δεδομένων θερμοκρασίας, μονάδας λήψης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ή ασύρματου καταγραφέα θερμοκρασίας.



Εικόνα 10. Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός θερμογράφου (Πηγή: <https://www.bestech.com.au/>)

Ο νόμος της ακτινοβολίας του Planck περιγράφει τη συσχέτιση της φασματικής ακτινοβολίας ενός μέλανος σώματος ανάλογα με τη θερμοκρασία και το μήκος κύματός του ($\lambda_{μαξ} * T = \text{σταθερό}$). Η εξίσωση Stefan-Boltzmann προβλέπει ότι το «ηλεκτρικό σήμα» (U) από τον ανιχνευτή η θερμοκρασίας του αντικειμένου (T) συνδέονται με μια σχέση αναλογίας της μορφής: $U \propto \epsilon T^4$.

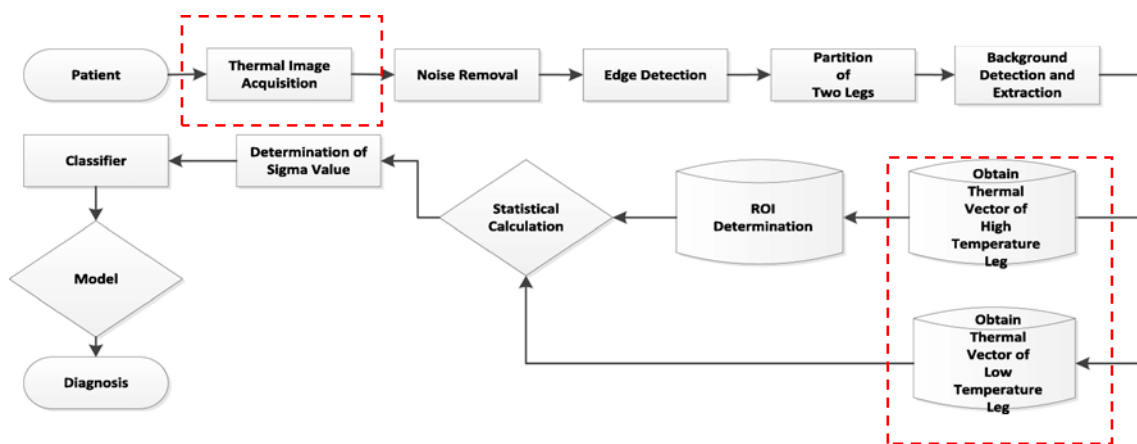
Η παραπάνω συσχέτιση συσχετίζει την εκπομπή ακτινοβολίας αντικειμένου (ϵ) με τη θερμοκρασία. Ένα μέλαν σώμα θεωρητικά έχει τιμή $\epsilon=1$, αλλά για τα πραγματικά σώματα

ισχύει $\varepsilon < 1$. Άρα κάθε σώμα εκπέμπει λιγότερη ακτινοβολία από ένα θεωρητικό μέλαν σώμα. Ο συντελεστής εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία της επιφάνειας [2].

3.2. Θερμογραφία Υπερύθρου στην Ιατρική: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας σε κλινικές δοκιμές είναι αρκετά διαδεδομένη. Η υπέρυθρη θερμογραφία έχει χρησιμοποιηθεί για διάγνωση και παρακολούθηση πολλών ασθενειών [10].

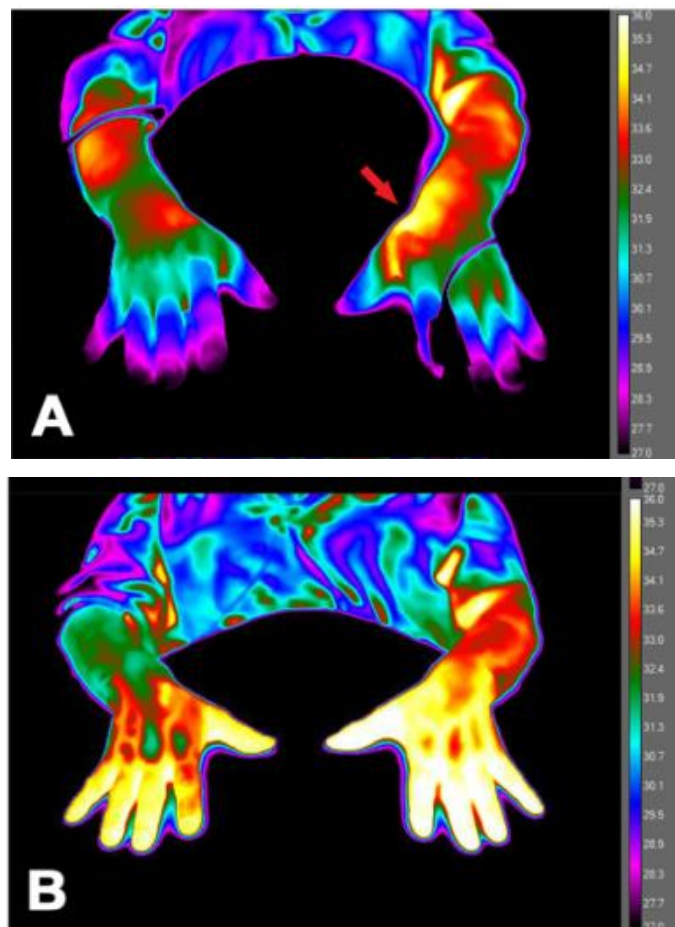
Οι Kasmaz et al [11] χρησιμοποίησαν τη θερμογραφία υπέρυθρου για τη διάγνωση φλεβικών θρομβώσεων. Για τη μελέτη τους, επιλέχθηκαν εβδομήντα ένας ασθενείς που ήταν ύποπτοι για θρομβώσεις λόγω παραπόνων όπως πόνος στα πόδια, οίδημα, αλλαγή χρώματος. Αρχικά λήφθηκαν υπέρυθρες θερμικές εικόνες από τους ασθενείς υπό κανονικές συνθήκες. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ροής της έρευνας των Kasmaz et al [11], όπου έχουν σημειωθεί τα στάδια που εφαρμόστηκε η θερμογραφία υπέρυθρων.



Εικόνα 11. Διάγραμμα ροής μελέτης ασθενών με θρομβώσεις [11]

Το 2019, οι de Medeiros et al [12] χρησιμοποίησαν τη θερμογραφία υπέρυθρου για να τη διάγνωση δηλητηρίασης από δάγκωμα φιδιού. Συγκεκριμένα, μια ασθενής 51 χρονών δαγκώθηκε από το φίδι *Micrurus frontalis*. Το σημείο του δαγκώματος ήταν στο δεξί χέρι και ειδικότερα στο πίσω μέρος. Έφτασε στο νοσοκομείο περίπου ένα τέταρτο αργότερα και για τη διάγνωσή της χρησιμοποιήθηκε υπέρυθρη θερμογραφία. Τα θερμογραφήματα έδειξαν υψηλές τιμές θερμοκρασίας στο μέρος του χεριού που δαγκώθηκε, αλλά και λίγο πιο πάνω, στον αγκώνα.

Στη συνέχεια, η γυναίκα παρουσίασε αδυναμία στους μύες των χεριών, αλλά και στα βλέφαρα. Τα νέα θερμογραφήματα πάλι έδειξαν αυξημένες θερμοκρασίες στα σημεία του πόνου. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, η ασθενής δέχθηκε κατάλληλη θεραπεία στο σωστό σημείο. Έτσι, πήρε γρήγορα εξιτήριο και δε χρειάστηκε περαιτέρω περίθαλψη (αρκούσε το αντίδοτο). Άρα, συνάγεται το συμπέρασμα ότι με τα θερμογραφήματα μπορούμε να εντοπίσουμε τη διάδοση της εκάστοτε τοξίνης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αρχική τοποθεσία του δαγκώματος (όπου παρουσιάζεται η υψηλότερη θερμοκρασία), ενώ δεξιά φαίνεται πώς έχει διαδοθεί το δηλητήριο λίγο αργότερα.

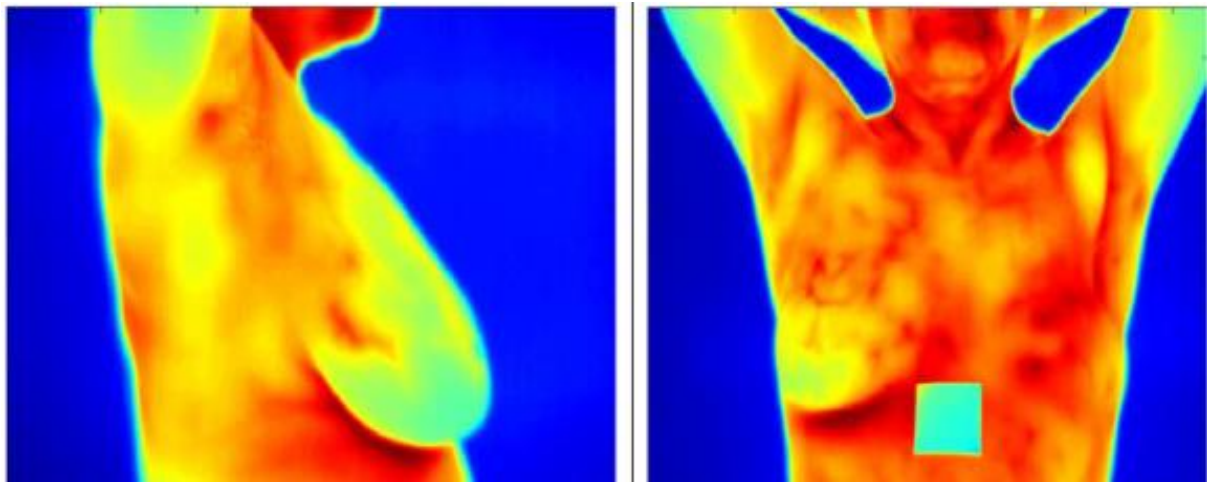


Εικόνα 12. Θερμογράφημα αμέσως μετά το δάγκωμα (αριστερά) και λίγο ώρα μετά (δεξιά)

Οι Ekici & Jawzal [13] ασχολήθηκαν με τη θερμογραφία υπερύθρου με την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού για τον εντοπισμό του καρκίνου του μαστού. Λαμβάνοντας υπόψη το υψηλό κόστος της θεραπείας και τον υψηλό επιπολασμό των προσβεβλημένων ατόμων, η έγκαιρη διάγνωση είναι το πιο σημαντικό βήμα για τη μείωση των υγειονομικών και κοινωνικών επιπλοκών αυτής της νόσου. Στα πλαίσια της έρευνάς τους αναπτύχθηκε λογισμικό

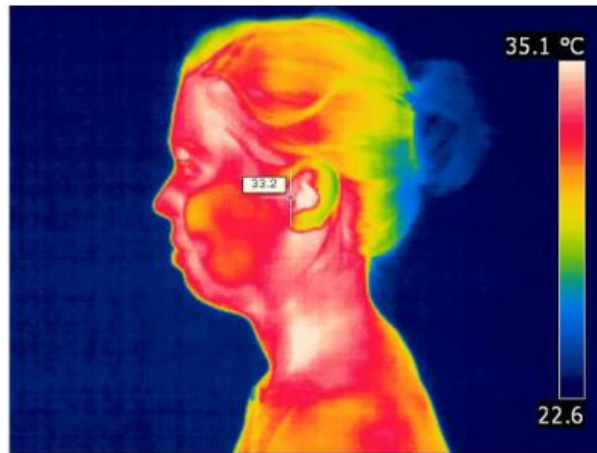
που μπορεί να προβλέψει και να ανιχνεύει καρκίνο του μαστού με την εφαρμογή αλγορίθμων σε θερμικές εικόνες.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εξάγει χαρακτηριστικά για το εξεταζόμενο σημείο με βάση το ιστορικό του ασθενούς και την ανάλυση της θερμικής εικόνας. Οι εικόνες χαρακτηρίζονται ως κανονικές ή ύποπτες χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα (CNN) βελτιστοποιημένα από τον αλγόριθμο Bayes. Ο αλγόριθμος των Ekici & Jawzal [13] έδωσε ποσοστό ακρίβειας 98,95% στην πρώτη έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 140 άτομα. Στιγμιότυπο από την έρευνά των Ekici & Jawzal [13] δίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 13. Θερμογράφημα κατά τη μελέτη ασθενών με καρκίνο του μαστού [13]

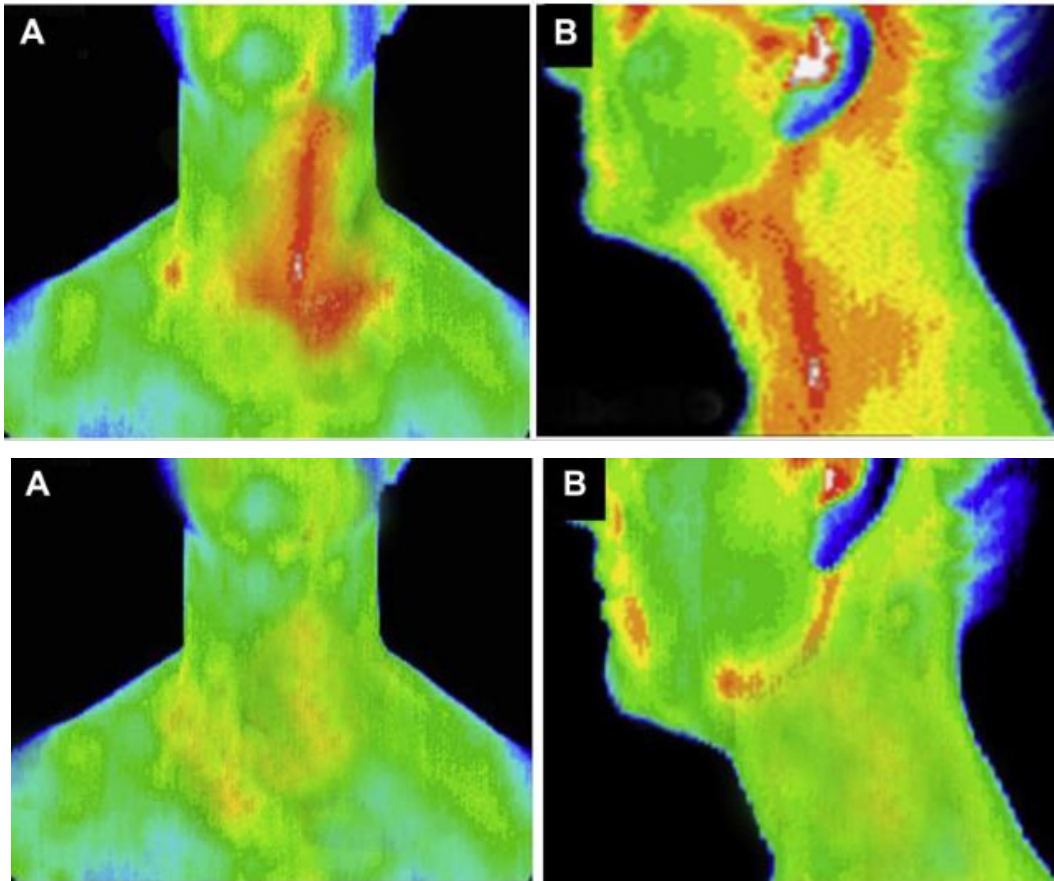
Οι Rodrigues-Bigato et al [14] χρησιμοποίησαν θερμοκάμερα για να διαγνώσουν αρθραλγία σε γυναίκες με διαταραχές στη γνάθο. Το δείγμα τους ήταν τριάντα γυναίκες ηλικίας μεταξύ 18 και 40 ετών. Τα άτομα χωρίστηκαν σε δυο κατηγορίες: η πρώτη ήταν η ομάδα ελέγχου (15 άτομα) και η δεύτερη ήταν η ομάδα της αρθραλγίας (15 άτομα). Λήφθηκαν θερμογραφήματα και για τα δύο γκρουπ, όπως δείχνει η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 14. Θερμογράφημα ασθενούς με κροταφογοναθικές διαταραχές [14]

Οι Astasio-Picado et al. πραγματοποίησαν μια μελέτη σε δείγμα 479 ατόμων που με σκοπό να μελετήσουν την εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας για τη διάγνωση και παρακολούθηση του διαβήτη. Από το δείγμα τους, τα άτομα με διαβήτη ήταν 277 άτομα, με μέση ηλικία τα 63,41 έτη [138 άνδρες (49,8%) και 139 γυναίκες (50,2%)], αυτά χωρίς διαβήτη ήταν 202 άτομα, με μέσο όρο ηλικίας 61,92 έτη [99 άνδρες (49%) και 103 γυναίκες (51%)]. Η χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας έγινε στο πόδι, στο οποίο εξετάστηκε η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας θα είναι χρήσιμη στη διάγνωση και την πρόληψη του διαβήτη [15].

Οι Lin et al. [16] καταγράφουν την εφαρμογή της υπέρυθρης απεικονιστικής θερμογραφίας για τη διάγνωση και αντιμετώπιση της αγγειίτιδας σε 39χρονη ασθενή. Η περίπτωση της ασθενούς υπογραμμίζει την πιθανή κλινική χρησιμότητα της υπέρυθρης σε ασθενείς με αγγειίτιδα. Τα θερμικά σήματα στην αορτή και στην καρωτίδα αρτηρία δίνουν πολύτιμες πληροφορίες στη διάγνωση και θεραπεία. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την εν λόγω έρευνα [16].

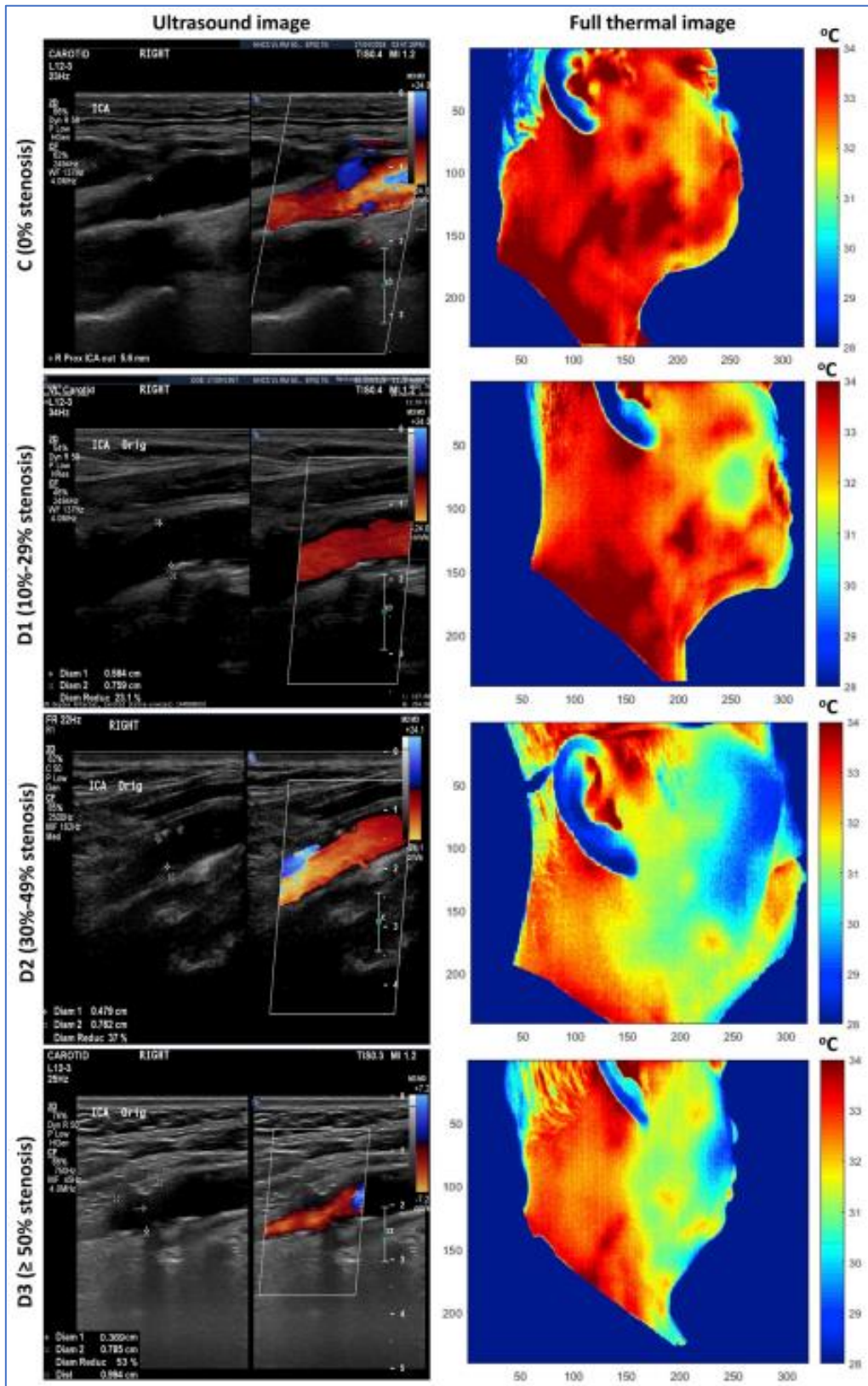


Εικόνα 15. Θερμογράφημα ασθενούς με αγγειίτιδα πριν τη θεραπεία (πάνω) και μετά τη θεραπεία (κάτω)

Οι Roggio et al. [17] εφάρμοσαν τη θερμογραφία υπερύθρου για να μελετήσουν περιπτώσεις σκολίωσης σε εφήβους και νέους ενήλικες. Η εφηβική και νεανική ιδιοπαθής σκολίωση είναι μια παραμόρφωση της σπονδυλικής στήλης. Στην εργασία τους, αξιολογούν την υπέρυθρη θερμογραφία ως μέθοδο για την αξιολόγηση των περιπτώσεων σκολίωσης. Η εργασία τους ανέδειξε τη δυνατότητα εφαρμογής της θερμογραφίας υπερύθρου στη διάγνωση σκολίωσης με μέτρηση της θερμικής δραστηριότητας των μυών της πλάτης. Τα ευρήματα υποδεικνύουν πως η διάγνωση θα γίνει βάση της ασύμμετρης κατανομής θερμοκρασίας στις δυο πλευρές εκατέρωθεν του εξεταζόμενου σημείου.

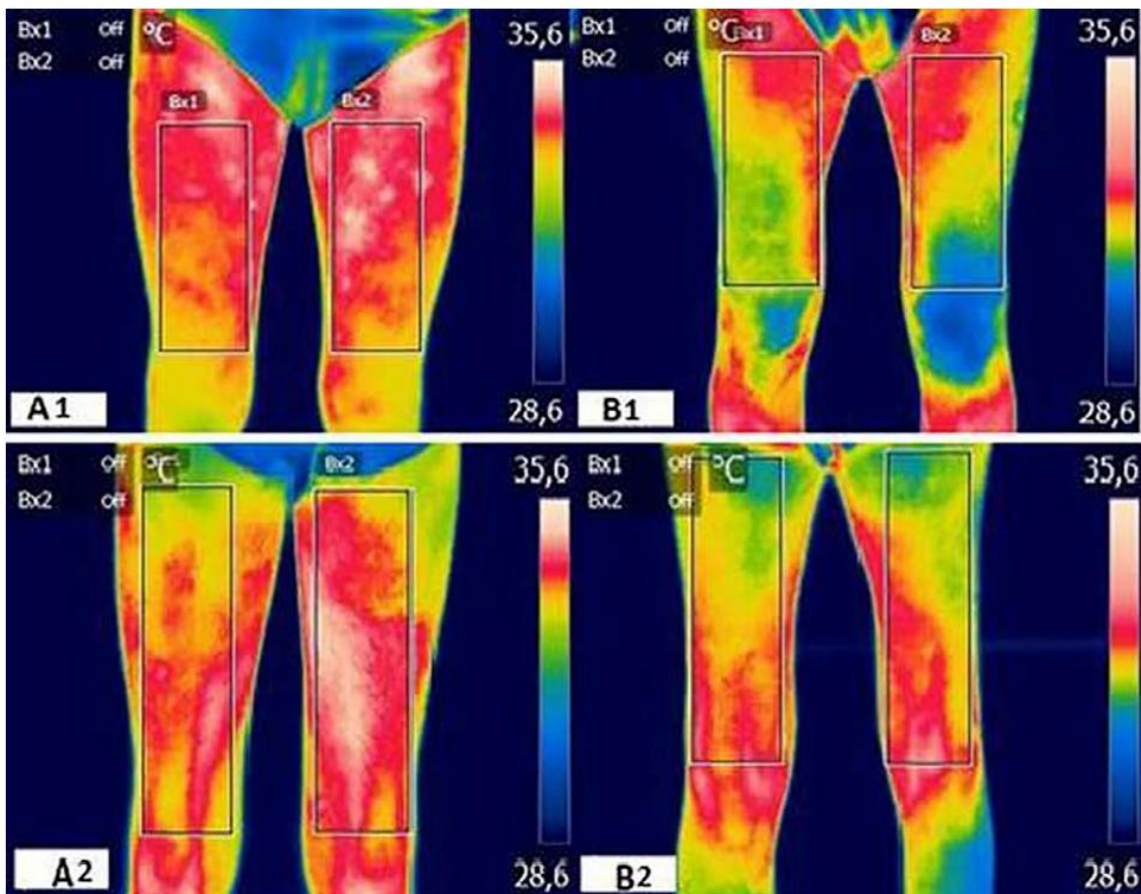
Οι Saxena et al. [18] εφάρμοσαν τη θερμογραφία υπερύθρου για να αξιολογήσουν την παρουσία στένωσης καρωτιδικής αρτηρίας (CAS). Με τη χρήση κάμερας, λήφθηκαν τα θερμογραφήματα για τα εξεταζόμενα σημεία. Αν υπάρχει στένωση της καρωτίδας αναμένονται μη φυσιολογικοί θερμικοί χάρτες στην εξωτερική επιφάνεια του δέρματος. Επίσης, γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων. Η στένωση συνδέεται με την εμφάνιση θερμικών αλλαγών λόγω της διαφορετικής ροής του αίματος. Για να αποδειχθεί ότι η

θερμογραφία υπερύθρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διάγνωση της στένωσης, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη χρήση υπερήχων (συνήθης διάγνωση). Συγκριτικά αποτελέσματα της έρευνάς τους συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 16. Διάγνωση στένωσης της καρωτίδας με τη χρήση υπερήχων (αριστερά) και τη χρήση θερμογραφίας υπερήχων (δεξιά)

Οι Cabisozu et al. [19] μελέτησαν την υπέρυθη θερμογραφία ως εργαλείο για τη διάγνωση και την παρακολούθηση της νόσου Emery-Dreifuss λόγω πιθανών αλλαγών θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος εξαιτίας της σταθερής εκφυλιστικής εξέλιξης αυτής της μυϊκής δυστροφίας. Καθώς οι έρευνες βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο, προτείνανε την πιλοτική μελέτη σε 2 αδέρφια που διαγνωσμένα με την πάθηση Emery-Dreifuss. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίθηκαν με αυτά από την αξονική τομογραφία. Η σύγκριση μεταξύ της αξονικής τομογραφίας και της θερμογραφίας έδειξε πώς τα πρώτα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά.



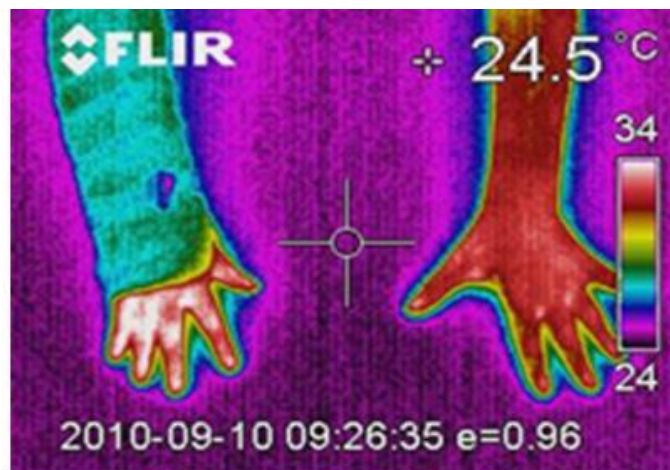
Εικόνα 17. Παρακολούθηση του συνδρόμου Emery-Dreifuss με τη χρήση θερμογραφίας υπέρυθρου

Οι Curkovic et al. [20] χρησιμοποίησαν την υπέρυθη θερμογραφία για την καταγραφή παιδικών τραυμαμάτων. Οι απλοί τραυματισμοί είναι η πιο κοινή αιτία νοσηλείας των παιδιών. Ειδικά, τα κατάγματα στο χέρι είναι περίπου το 1/3 των καταγμάτων. Το ένα τρίτο των

καταγμάτων του αντιβραχίου είναι κατάγματα του περιφερικού αντιβραχίου, τα οποία είναι τα πιο κοινά κατάγματα στον παιδικό πληθυσμό.

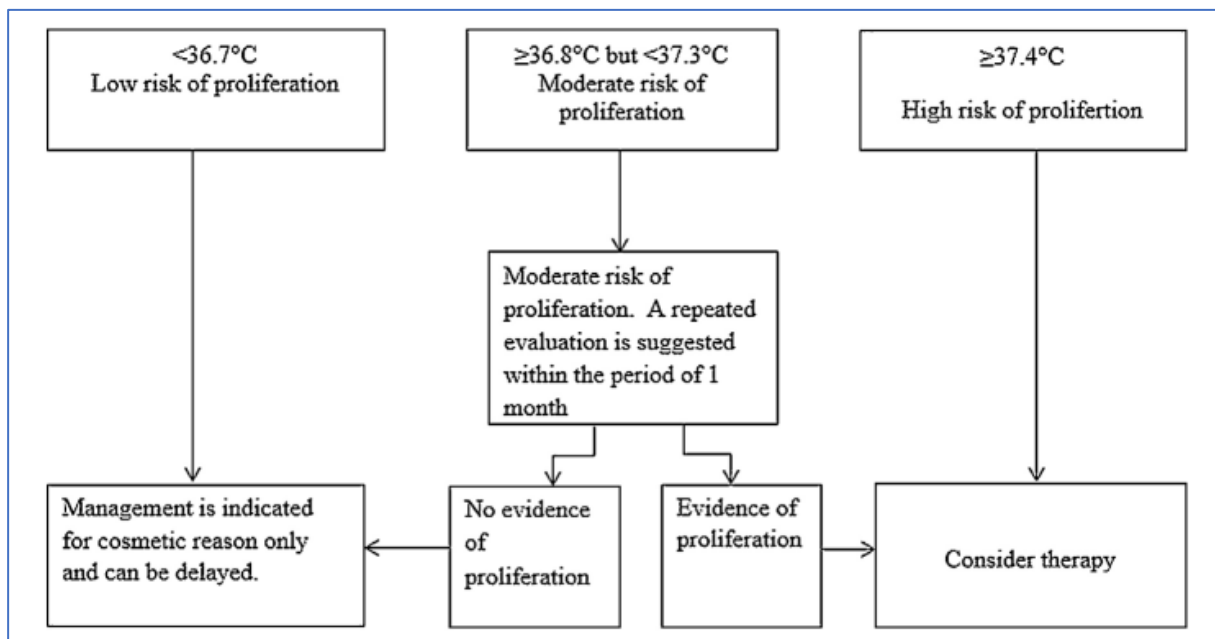
Στην έρευνα των Curkovic et al. [20], τα θερμογραφήματα λήφθηκαν στις 7,14 και 21 μέρες μετά το συμβάν του τραύματος. Αν στα θερμογραφήματα παρατηρούταν θερμοκρασιακή απόκλιση πέραν των τριών εβδομάδων, τότε ακολουθούσε και μια έξτρα μέτρηση στον έναν μήνα μετά το τραύμα.

Αξιολόγηση των θερμογραμμάτων έδειξε ότι η μετρούμενη θερμοκρασία του σπασμένου μέρους ήταν υψηλότερη 7 ημέρες μετά τον τραυματισμό. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σπασμένου και του υγιούς χεριού κυμαίνονταν από 0,8 έως 2,8 °C. Η υψηλότερη θερμοκρασία που μετρήθηκε στην πλευρά του κατάγματος ήταν 35,5 °C και η χαμηλότερη ήταν 28,9 °C. Η θερμοκρασία στην σπασμένη πλευρά ήταν ακόμα υψηλότερη από αυτή στην υγιή πλευρά 14 ημέρες μετά τον αρχικό τραυματισμό, αλλά η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σπασμένων και υγιών αντιβραχίων ήταν μικρότερη, συγκεκριμένα κυμάνθηκε από 0,4 °C έως 1,4 °C. Κατά μέσο όρο παρατηρήθηκε 1,8 °C χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με 7 μέρες νωρίτερα. Στις 21 ημέρες μετά τον αρχικό τραυματισμό, τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα, δηλαδή παρατηρήθηκε μόνο μια μικρή διαφορά θερμοκρασίας από 0 έως 0,7 °C μεταξύ των δυο χεριών. Αυτά τα αποτελέσματα συσχετίζονται με τη φυσιολογία παιδικών καταγμάτων βάσει της οποίας είναι γνωστό ότι η φάση αναδιαμόρφωσης έχει ήδη ξεκινήσει 3 εβδομάδες μετά την αρχική βλάβη.



Εικόνα 18. Θερμογράφημα χεριών (σπασμένου και υγιούς) ενός ασθενούς από την έρευνα [20]

Οι Strumila et al. [21], με τη χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας, προσπάθησαν να καταγράψουν την εξάπλωση βρεφικού αιμαγγειώματος. Τα βρεφικά γγείωματα είναι καλοήθη. Στην παρούσα έρευνα [21] αξιολογήθηκε η χρήση θερμοκάμερας για την παρακολούθηση της εξάπλωσης του αιμαγγειώματος. Ερευνήθηκαν 156 παιδιά ηλικίας έως 6 μηνών, κανένα από τα οποία δε χρειάστηκε άμεση θεραπεία. Τελικά οι ασθενείς χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες: αυτοί που είχαν σταθερά, ελαφρώς αναπτυσσόμενα και αναπτυσσόμενα αγγειώματα. Από τα 156 παιδιά που αξιολογήθηκαν, 100 (64%) κατατάχθηκαν στην ομάδα με τα σταθερά αγγειώματα; 30 (19%), στην ελαφρώς αναπτυσσόμενη ομάδα και 26 (17%), εντάχθηκαν στην αναπτυσσόμενη ομάδα. Από τα αποτελέσματα της έρευνας συνάχθηκε το εξής: όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 36,7 °C, δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος εξάπλωσης του αγγειώματος. Όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 37,4 °C, ο κίνδυνος εξάπλωσης είναι μεγάλος. Ο αλγόριθμος αξιολόγησης που προτάθηκε συνοψίζεται στην παρακάτω εικόνα.



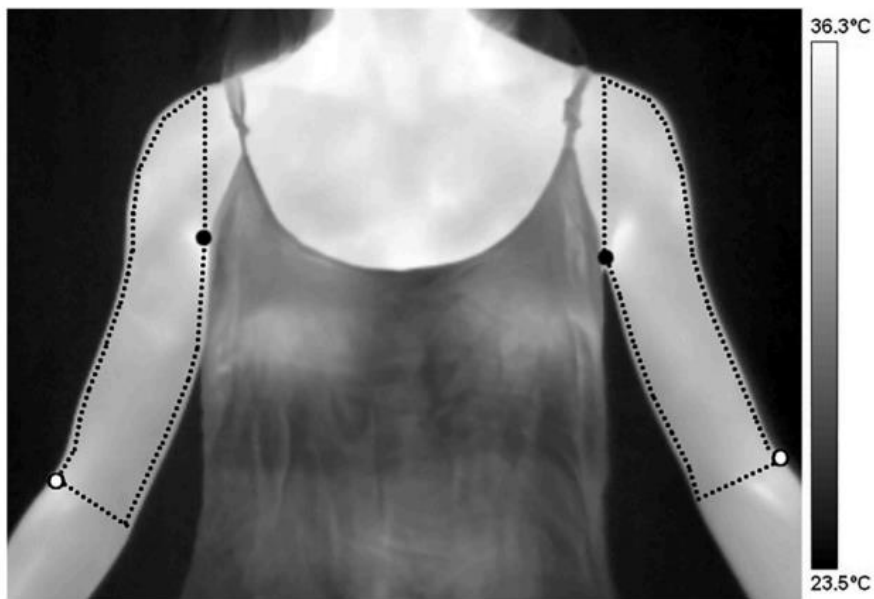
Εικόνα 19. Τρόπος αξιολόγησης των θερμογραφημάτων σε περιπτώσεις βρεφικού αγγειώματος

Σε μια πρόσφατη έρευνα έρευνα, οι Sosa Machado et al. [22], μελέτησαν την μυϊκή κόπωση γυναικών ασθενών με τη χρήση θερμογραφίας υπέρυθρου. Η μυϊκή κόπωση αποτελεί τροχοπέδη ακόμα και για τις απλές δραστηριότητες ή την άθληση. Συνεχόμενες μέρες ή χρόνος άσκησης χωρίς κατάλληλο χρόνο ξεκούρασης οδηγούν σε αθροιστική κόπωση.

Γενικά, θεωρείται ότι η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να εφαρμοστεί ως έμμεσος δείκτης για την αξιολόγηση των βλαβών της άσκησης, δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις αν η

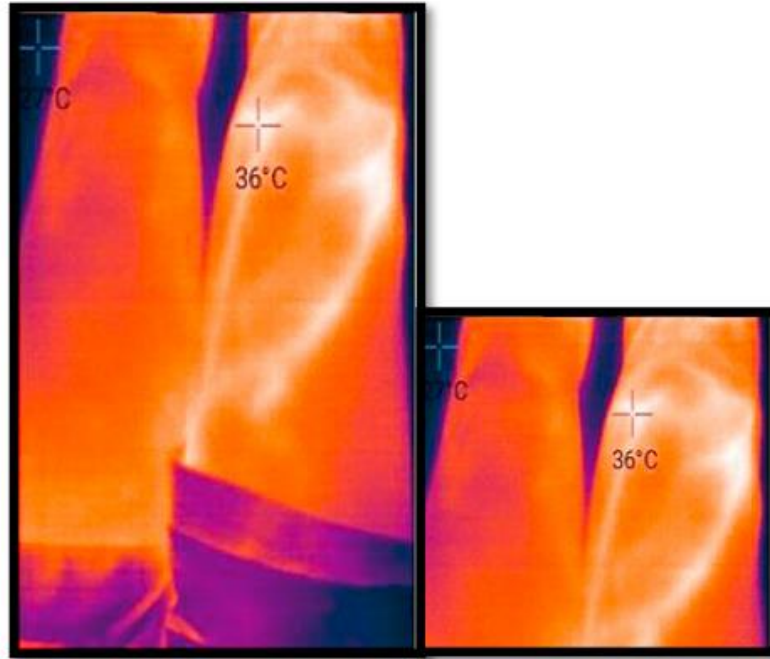
θερμοκρασία αυτή σχετίζεται με την αθροιστική κόπωση. Στην εν λόγω έρευνα, το δείγμα ήταν 21 γυναίκες (αγύμναστες), στις οποίες προκλήθηκε αθροιστική κόπωση στους δικέφαλους βραχιόνιους για δύο συνεχόμενες ημέρες λόγω άσκησης.

Μετρήθηκε ο καθηστερημένος μυϊκός πόνος, η μέγιστη δύναμη (χρησιμοποιώντας δυναμόμετρο) και η θερμοκρασία του δέρματος (με χρήση υπέρυθρης θερμογραφίας) στους μύες που ασκούνται και δεν ασκούνται. Η θερμοκρασία του δέρματος στον βραχίονα που υποβάλλεται σε αθροιστική κόπωση ήταν υψηλότερη και πιο ασύμμετρη σε σχέση με τον βραχίονα ελέγχου.



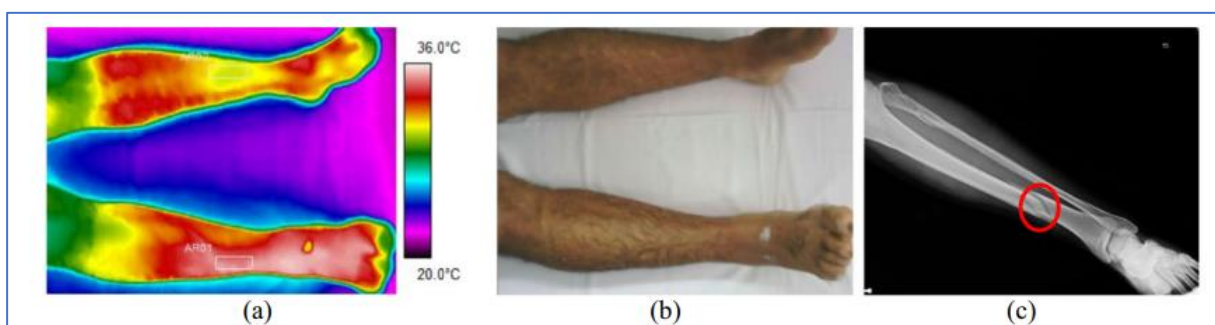
Εικόνα 20. Θερμογράφημα ασθενούς της έρευνας [22]

Η θερμογραφία υπέρυθρου έχει εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις μυϊκών τραυματιών και μυϊκής αποκατάστασης για την παρακολούθηση των ασθενών [23]. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται μια θερμική εικόνα κατά την πραγματοποίηση ασκήσεων αποκατάστασης για μια γυναίκα τραυματία [23].



Εικόνα 21. Θερμογράφημα ασθενούς κατά τη διάρκεια ασκήσεων αποκατάστασης

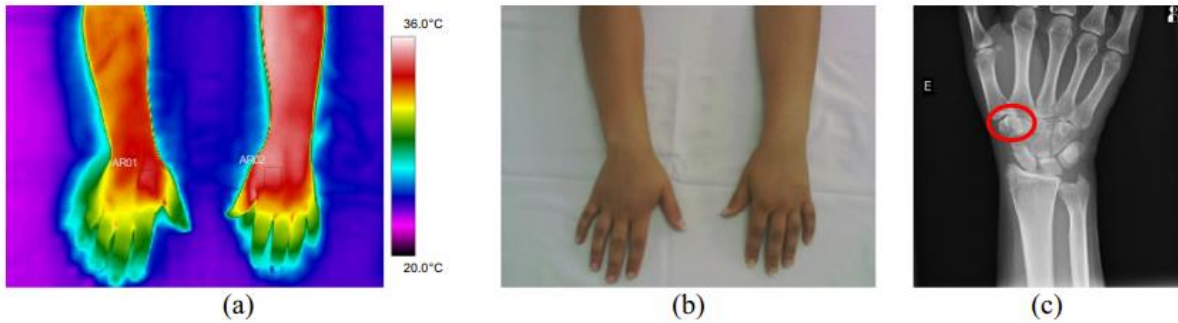
Επιπλέον, η υπέρυθη θερμογραφία έχει εφαρμοστεί για τη διάγνωση κακώσεων. Μάλιστα, η εφαρμογή της έχει προταθεί ως σωτήρια στα επείγοντα περιστατικά [24]. Αν δεν υπάρχει άμεση πρόσβαση σε ακτινογράφο, η χρήση θερμοκάμερας μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για το είδος των τραυμάτων που έχει ο/η ασθενής. Αυτό φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Εκεί που υπάρχει αδικαιολόγητα υψηλή θερμοκρασία, αναμένεται να είναι το σημείο που χρήζει θεραπείας.



Εικόνα 22. Τραυματισμός στο δεξί πόδι (a) θερμογράφημα, (b) κανονική λήψη, (c) ακτινογραφία της κάκωσης

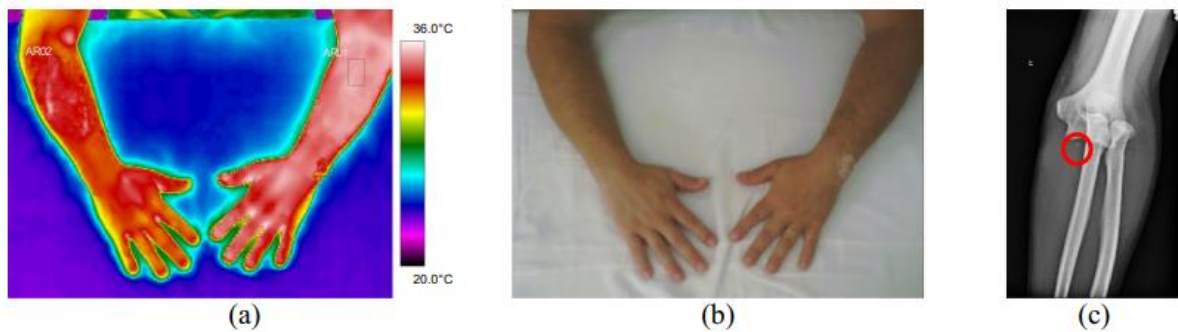
Τα στοιχεία έδειξαν ότι στο παραπάνω κάταγμα, η θερμοκρασία ακριβώς στο σημείο τραυματισμού ήταν υψηλότερη. Η μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του υγιούς και του τραυματισμένου ποδιού έφτασε μέχρι τους 4,5 °C.

Αντίστοιχες μετρήσεις σε τραυματισμένες φάλαγγες εκτιμήσεις έδειξαν ανάλογα αποτελέσματα. Σε σπασμένο δάχτυλο, το μέσο εύρος θερμοκρασίας έδειξε μεγάλη θερμική μεταβλητότητα, με τιμές μεταξύ 28,7 °C και 35,0 °C. η υψηλότερη τιμή ήταν δίπλα στο κάταγμα [24].

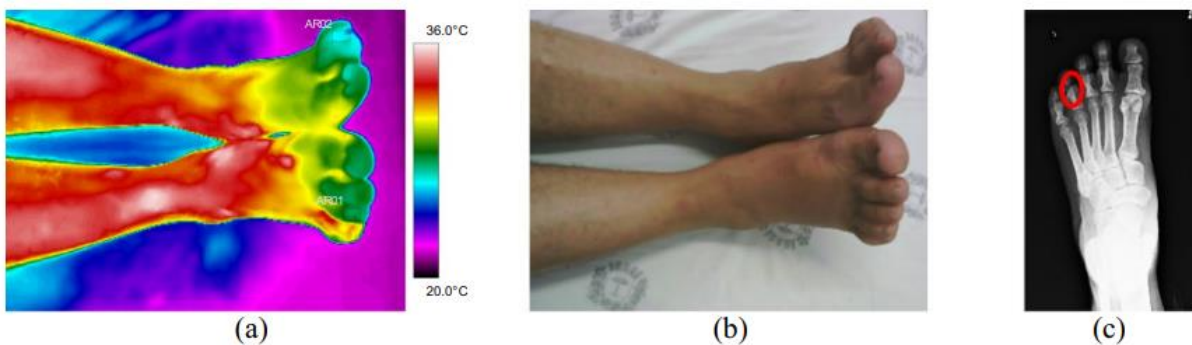


Εικόνα 23. Τραυματισμός στις φάλαγγες (α) θερμογράφημα, (β) κανονική λήψη, (γ) ακτινογραφία της κάκωσης

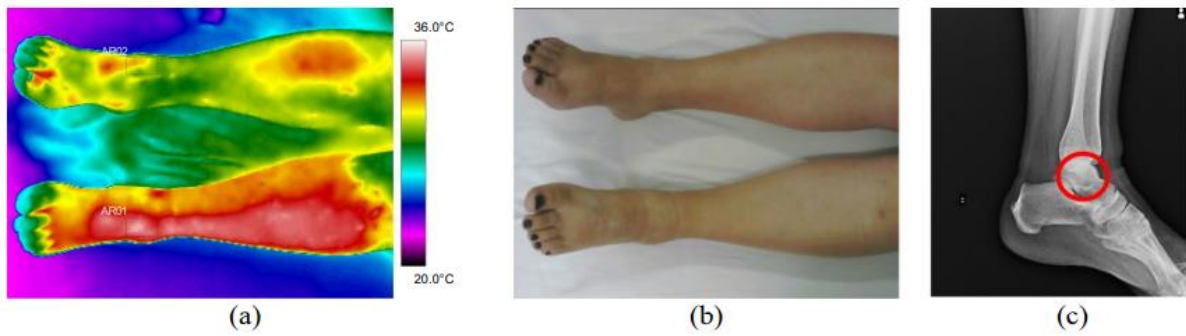
Στα δέκα κατάγματα του αντιβραχίου, το πιο κοινό τραύμα ήταν στο περιφερικό τμήμα του αγκώνα. Όλοι οι εθελοντές μπήκαν στο νοσοκομείο μετά από πτώση ή τροχαίο ατύχημα, με έντονο πόνο. Η μέση θερμοκρασία στο τραυματισμένο αντιβράχιο κυμαινόταν από 33,9 έως 35,7 °C.



Εικόνα 24. Τραυματισμός γύρω από τον αγκώνα (α) θερμογράφημα, (β) κανονική λήψη, (γ) ακτινογραφία της κάκωσης



Εικόνα 25. Τραυματισμός στη φάλαγγα ποδιού (α) θερμογράφημα, (β) κανονική λήψη, (γ) ακτινογραφία της κάκωσης



Εικόνα 26. Τραυματισμός στον αστράγαλο (α) θερμογράφημα, (β) κανονική λήψη, (γ) ακτινογραφία της κάκωσης

Τα ευρήματα της έρευνας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα θερμογραφήματα μπορούν να φανερώσουν τη θέση του τραύματος. Έτσι, γίνεται πιο εύκολη και ακριβής η λήψη ακτινογραφιών, γιατί ο ασθενής δεν εκτίθεται άσκοπα σε ιονίζουσα ακτινοβολία, καθώς δεν απαιτείται λήψη συμπληρωματικών ακτινογραφιών. Όταν οι θερμικές διαφορές που παρουσιάστηκαν ήταν μεγαλύτερες από $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, τότε έχουμε σοβαρή ένδειξη για παρουσία κατάγματος οστού [24].

4. Μεθοδολογία

Η διαδικασία των μετρήσεων που περιγράφεται στην παρακάτω πειραματική διαδικασία, περιλάμβανε τη λήψη θερμογραφικών εικόνων και την αποτίμηση θερμοκρασιακών τιμών και μεταβολών, στην περιοχή ενδιαφέροντος του εκάστοτε ασθενούς, πριν και μετά τη θεραπευτική παρέμβαση.

Οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν τόσο πριν την εφαρμογή του φυσικού μέσου (Ηλεκτροθεραπεία TENS), και εφόσον οι ασθενείς βρίσκονταν σε κατάσταση ηρεμίας για τουλάχιστον 10 λεπτά, όσο και αμέσως μετά την ολοκλήρωση της θεραπείας.

Η απόσταση τοποθέτησης της θερμοκάμερας, από το μετρούμενο σημείο ενδιαφέροντος, σε κάθε περίπτωση, ήταν περίπου στο 1 m, για τη διασφάλιση της επαναληψιμότητας των μετρήσεων, ενώ η θερμοκρασία περιβάλλοντος στο χώρο, διατηρούνταν και αυτή σταθερή μέσω κλιματισμού, στους 26-27 ° C.

4.1. Συσκευή Ηλεκτροθεραπείας

Για την ηλεκτροθεραπεία TENS, στην οποία υποβλήθηκαν οι ασθενείς, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή ηλεκτροδιέγερσης GLOBUS ACTIVA 700, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 27. Πρόσωση της συσκευής ηλεκτροδιέγερσης GLOBUS ACTIVA 700

Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της συσκευής ηλεκτροδιέγερσης GLOBUS ACTIVA 700

| Χαρακτηριστικό | Τιμή |
|----------------|---|
| Κανάλια | 4 ανεξάρτητα |
| Συχνότητα | 0,3 - 150 Hz |
| Ισχύς | 120 mA ανά κανάλι |
| Εύρος παλμού | 40 - 450 μ s |
| Κυματομορφή | Τετραγωνική, διφασική, συμμετρική, με αντιστάθμιση εμπέδησης. |

Ο παραπάνω ηλεκτροδιεγέρτης, μπορεί να εκτελέσει 271 διαφορετικά προγράμματα συνολικά. Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, χρησιμοποιήθηκε το 12^ο για εφαρμογή μικρορευμάτων TENS στην περιοχή ενδιαφέροντος της εκάστοτε περίπτωσης. Με τη σύνδεση των καλωδίων ηλεκτροδιέγερσης στα 4 κανάλια της συσκευής και την τοποθέτηση των αυτοκόλλητων ηλεκτροδίων στα σημεία εφαρμογής, ξεκίνησε η διαδικασία της ηλεκτροθεραπείας, διάρκειας 10-15 λεπτών για κάθε ασθενή.

4.2. Θερμοκάμερα

Για τη λήψη των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε η θερμοκάμερα FLIR ONE Pro[®], η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



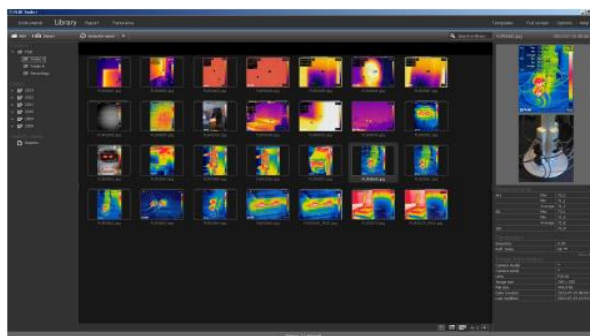
Εικόνα 28. Πρόσωση της θερμοκάμερας FLIR ONE PRO

Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά της θερμοκάμερας FLIR ONE PRO

| Χαρακτηριστικό | Τιμή |
|--------------------------------------|--|
| Θερμική ανάλυση (Thermal Resolution) | 160 × 120 |
| Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας | -20°C – 120°C & 0°C – 400°C |
| Θερμοκρασία λειτουργίας | 0 – 35 °C |
| Ακρίβεια μέτρησης | ± 3 – 5 % |
| Συντελεστές εκπομπής | 95% (τραχείες επιφάνειες), 80%, 60%, 30% (λείες επιφάνειες) |

Στην παρούσα εργασία αξιοποιήθηκε το λογισμικό FLIR TOOLS ® . Το FLIR Tools είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού ειδικά σχεδιασμένο για ανάλυση φωτογραφιών. Αποτελεί το επίσημο λογισμικό επεξεργασίας της ίδιας εταιρείας.



Εικόνα 29. Φωτογραφία από το λογισμικό FLIR Tools

4.3. Πειραματική διαδικασία

Για τη συλλογή δεδομένων (φωτογραφιών) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

1. Οι ασθενείς, κατόπιν ρητής συναίνεσης, συμφωνούν στη συλλογή δεδομένων από τη συγγραφέα.
2. Λαμβάνονται φωτογραφίες πριν την ιατρική παρέμβαση και εφόσον οι ασθενείς βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας για τουλάχιστον 10 λεπτά.
3. Λαμβάνονται φωτογραφίες αμέσως μετά την ιατρική παρέμβαση (ηλεκτροθεραπεία TENS).
4. Οι φωτογραφίες εισάγονται και αναλύονται στο παραπάνω λογισμικό.

Αφού πραγματοποιήθηκε η συλλογή δεδομένων, έλαβε χώρα η επεξεργασία των φωτογραφιών (μετρήσεων). Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα συνοψίζονται στα επόμενα κεφάλαια.

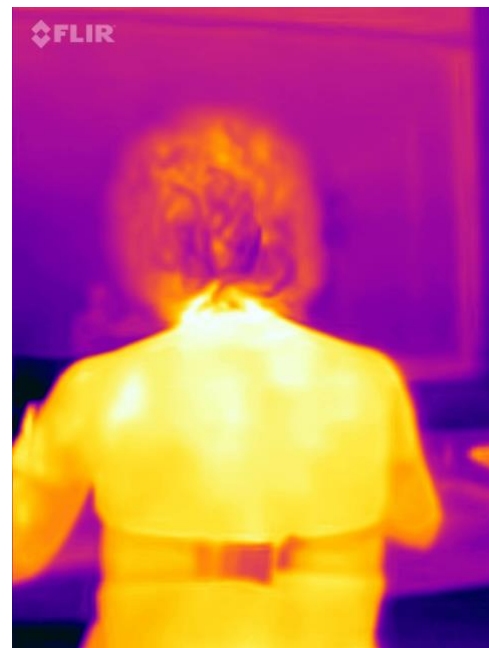
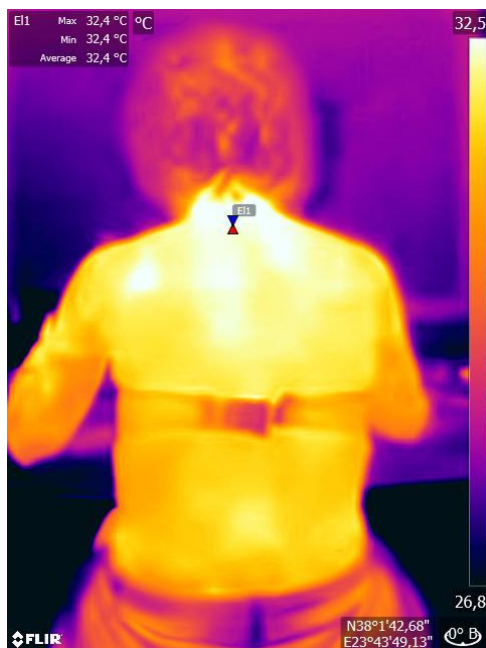
5. Αποτελέσματα

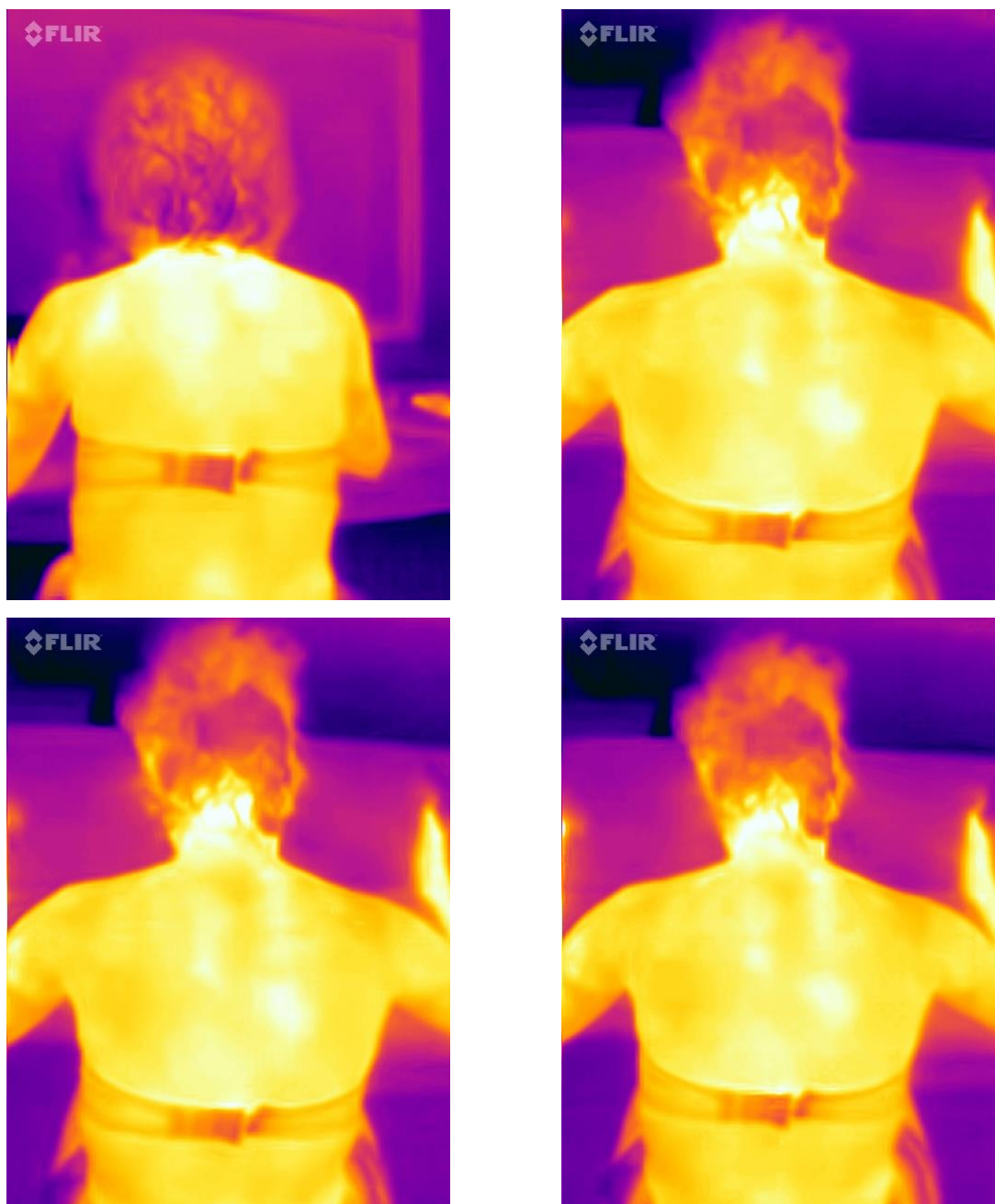
5.1. Ασθενής #1

Το πρώτο άτομο που εξετάστηκε ήταν μια ασθενής 43 ετών, πάσχουσα από αυχενικό σύνδρομο (αυχεναλγία). Τα σημεία πόνου αντιστοιχούσαν τοπικά στους σπόνδυλους C3-C5.

Το αυχενικό σύνδρομο δεν είναι μια πάθηση, αλλά αποτελεί έναν όρο για να περιγράψει μια ομάδα συμπτωμάτων από τον αυχένα, πού περιλαμβάνει την αυχεναλγία (πόνος στον αυχένα), τη δυσκαμψία (δυσκολία στις κινήσεις) και την αντανάκλαση στη ράχη και τα άνω άκρα (αυχενική ριζοπάθεια).

Για την ασθενή με κωδικό αριθμό #1 συλλέχθηκαν οι ακόλουθες φωτογραφίες:





Εικόνα 30. Φωτογραφίες της ασθενούς #1 σε μορφή θερμικού χάρτη

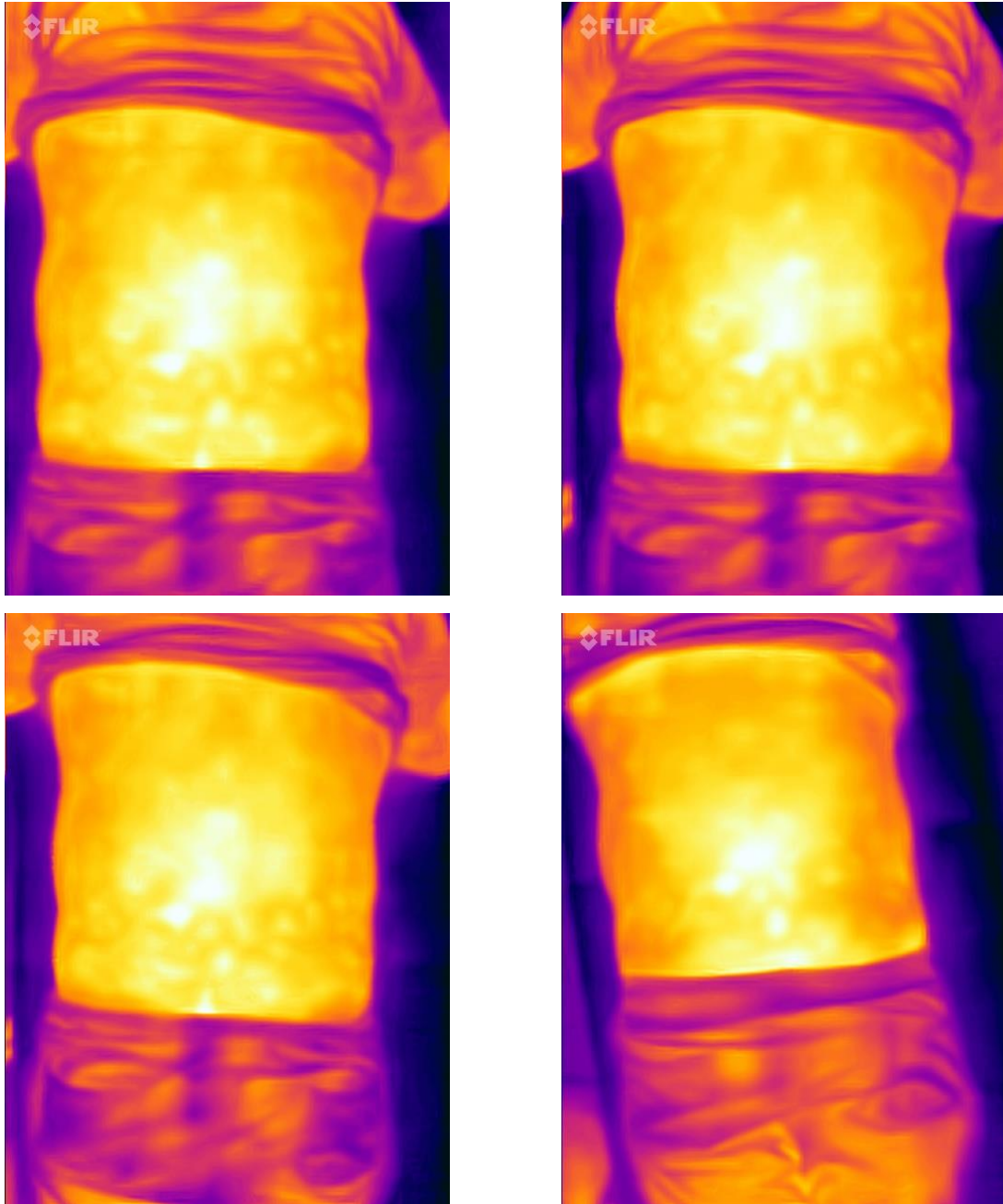
Τα αποτελέσματα της ασθενούς #1 συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

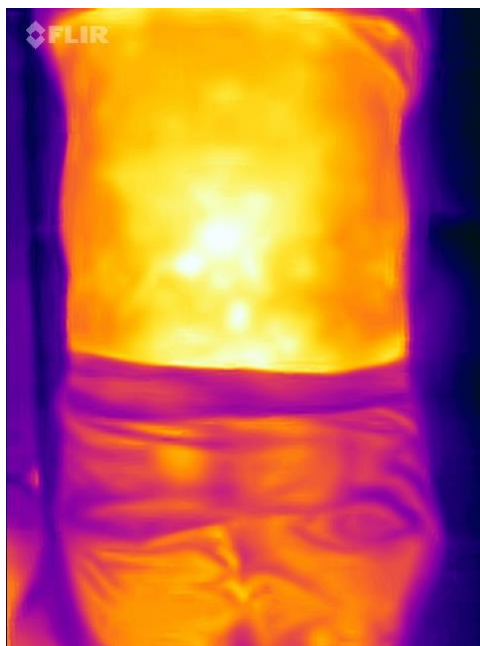
Πίνακας 3. Μέση τιμή μετρήσεων (ασθενής #1)

| Μέγεθος | Τιμή |
|--|----------|
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος | 27 ° C |
| Θερμοκρασία σημείου ενδιαφέροντος (πριν) | 33,4 ° C |
| Θερμοκρασία σημείου ενδιαφέροντος (μετά) | 32,6 ° C |
| Διαφορά θερμοκρασίας | 0,8 ° C |

5.2. Ασθενής #2

Ο δεύτερος ασθενής ήταν ένας άνδρας, 47 ετών, που έπασχε από οσφυαλγία. Το σημείο ενδιαφέροντος κατά την εξέταση ήταν στη μέση (L1-L3 οσφυϊκοί σπόνδυλοι κατά προσέγγιση). Η οσφυαλγία (πόνος στη μέση) δεν αποτελεί πάθηση, αλλά σύμπτωμα που υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιας πάθησης. Ο εντοπισμός της ακριβούς πάθησης -τοπικής ή συστηματικής- εξαρτάται από την αιτία που προκαλεί τον πόνο.





Εικόνα 31. Φωτογραφίες του ασθενή #2 σε μορφή θερμικού χάρτη

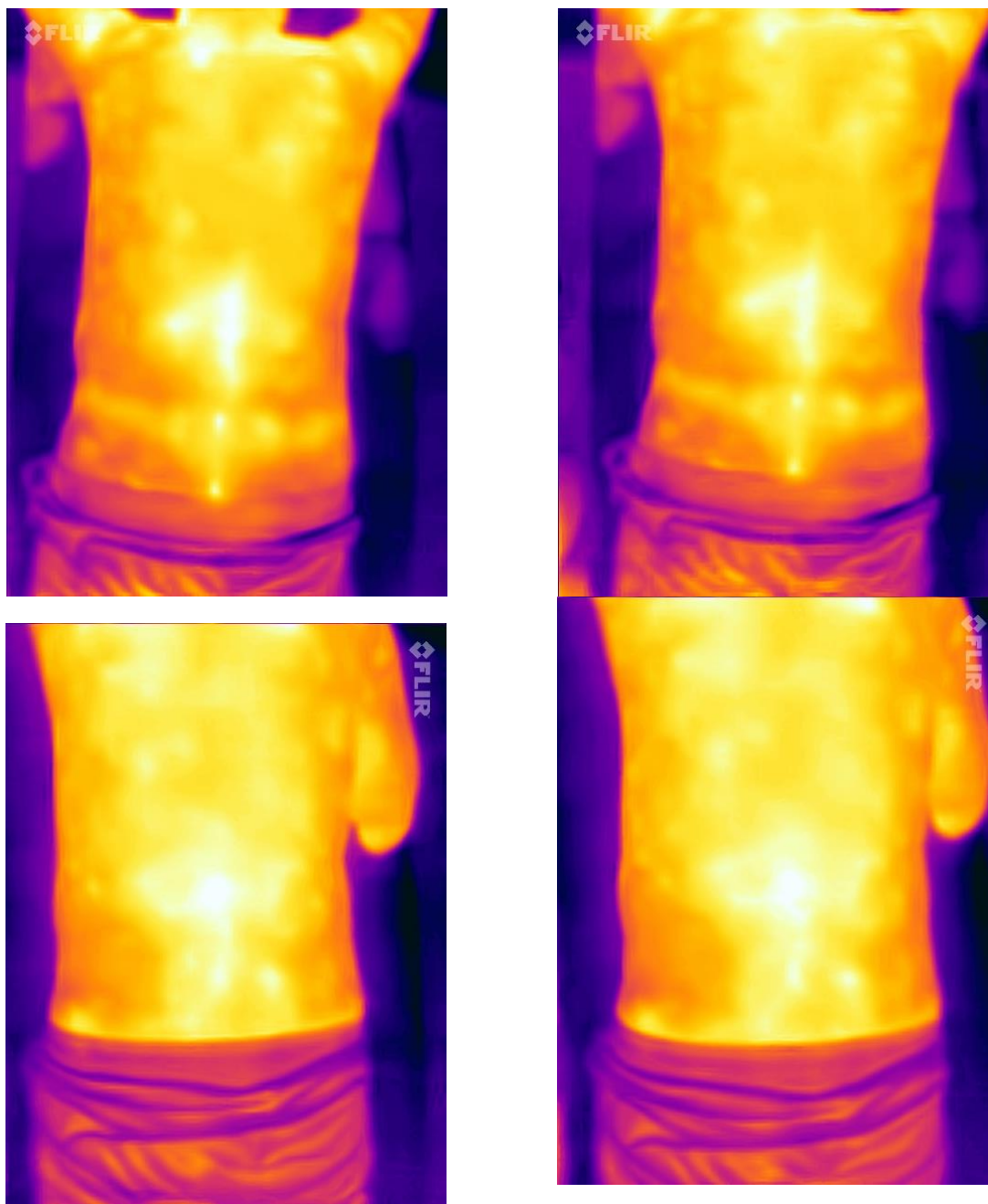
Τα αποτελέσματα του ασθενούς #2 συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4. Μέση τιμή μετρήσεων (ασθενής #2)

| Μέγεθος | Τιμή |
|--|----------|
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος | 26 ° C |
| Θερμοκρασία σημείου ενδιαφέροντος (πριν) | 33,4 ° C |
| Θερμοκρασία σημείου ενδιαφέροντος (μετά) | 31,9 ° C |
| Διαφορά θερμοκρασίας | 1,5 ° C |

5.3. Ασθενής #3

Το τρίτο άτομο ήταν ένας άνδρας 66 ετών, πάσχων από οσφυαλγία, ασβέστωμα και οστεόφυτο δεξιά στη μέση. Σημείο ενδιαφέροντος ήταν η μέση (L2-L4 οσφυϊκοί σπόνδυλοι κατά προσέγγιση). Μέσω της κοινής νεύρωσης οσφυϊκής μοίρας-ουροδόχου κύστης, προκαλείται αντανακλαστικός πόνος στη γάμπα του ασθενούς. Λαμβάνει φαρμακευτική αγωγή (φάρμακο ilaris) για αντιμετώπιση ουρικής αρθρίτιδας και επιπλέον θεραπεία με υπέρηχο μετά την ηλεκτροθεραπεία. Τα αποτελέσματα των πρώτων λήψεων συνοψίζονται στις ακόλουθες εικόνες και τον ακόλουθο πίνακα.

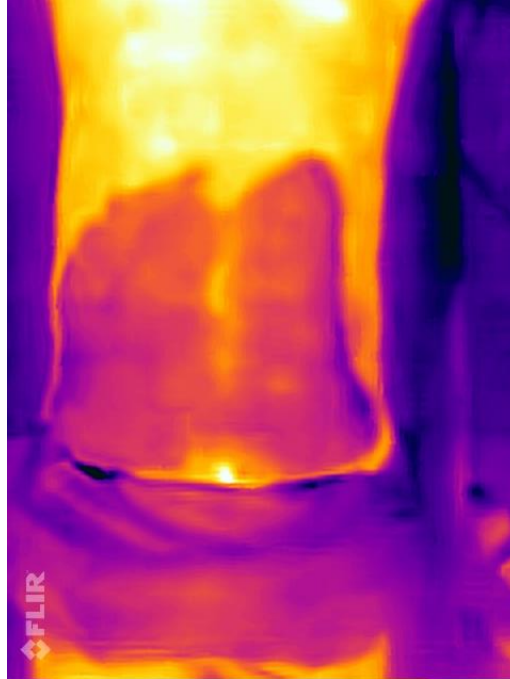


Εικόνα 32. Φωτογραφίες του ασθενή #3 σε μορφή θερμικού χάρτη (πριν την επιπλέον θεραπεία)

Πίνακας 5. Μέση τιμή μετρήσεων (ασθενής #3)

| Μέγεθος | Τιμή |
|--|----------|
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος | 26 ° C |
| Θερμοκρασία σημείου ενδιαφέροντος (πριν) | 34,1 ° C |
| Θερμοκρασία σημείου ενδιαφέροντος (μετά) | 32,3 ° C |
| Διαφορά θερμοκρασίας | 1,8 ° C |

Μετά την λήψη των παραπάνω φωτογραφιών, ο ασθενής υποβλήθηκε σε περαιτέρω θεραπεία (θεραπεία υπερήχων).



Εικόνα 33. Φωτογραφία του ασθενούς #3 μετά τη θεραπεία υπερήχων

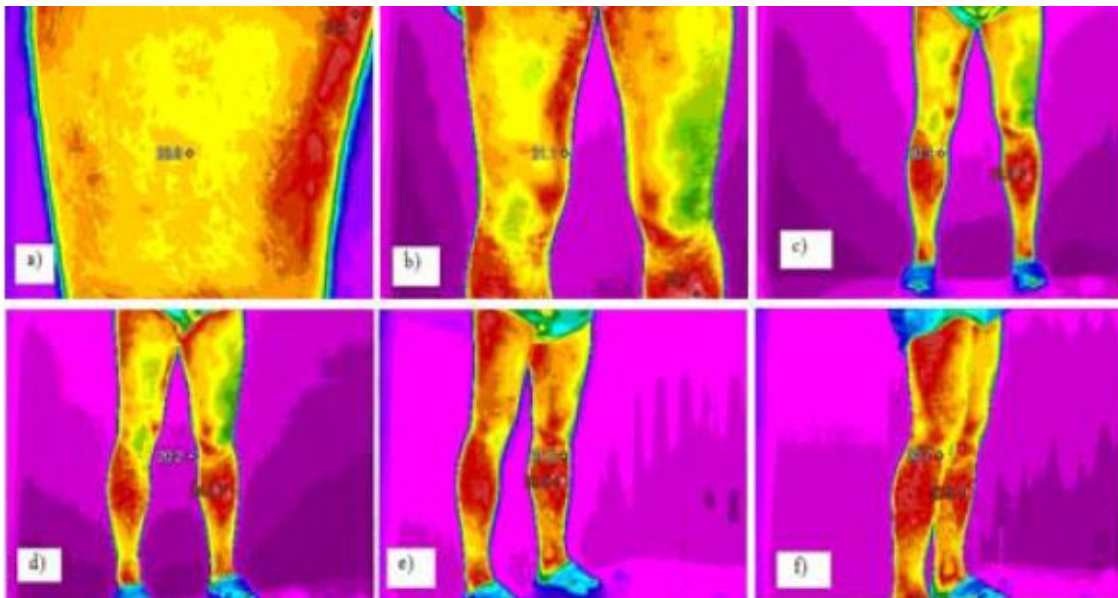
6. Συζήτηση Αποτελεσμάτων

➤ Παράμετροι λήψης φωτογραφιών

Οι θερμικοί χάρτες των ασθενών που εξετάστηκαν παρουσιάζουν ομοιομορφία όσον αφορά τις θερμοκρασίες πριν και μετά την ηλεκτροθεραπεία.

Για να διασφαλιστεί η επαναληψιμότητα των μετρήσεων, επιλέχθηκε μια συγκεκριμένη απόσταση τοποθέτησης της θερμοκάμερας περίπου στο 1 m. Γενικά, η σταθεροποίηση της απόστασης της κάμερας και της γωνίας μέτρησης δεν ήταν θέμα ύψιστης σημασίας. Οι Τκάονά et al. [25] απέδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μετρούμενης θερμοκρασίας και της θέσης/γωνίας της κάμερας προς το αντικείμενο της μέτρησης.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα θερμογραφήματα από την εν λόγω έρευνα. Λήφθηκαν μετρήσεις σε 3 διαφορετικές αποστάσεις και 3 διαφορετικές μετρήσεις από το σημείο πόνου του ασθενούς. Οι αποστάσεις στην πάνω γραμμή αντιστοιχούν σε 0,2 m , 1 m και 2,5 m αντίστοιχα, ενώ οι αντίστοιχες γωνίες αντιστοιχούν σε τιμές 20°, 50° και 80°.

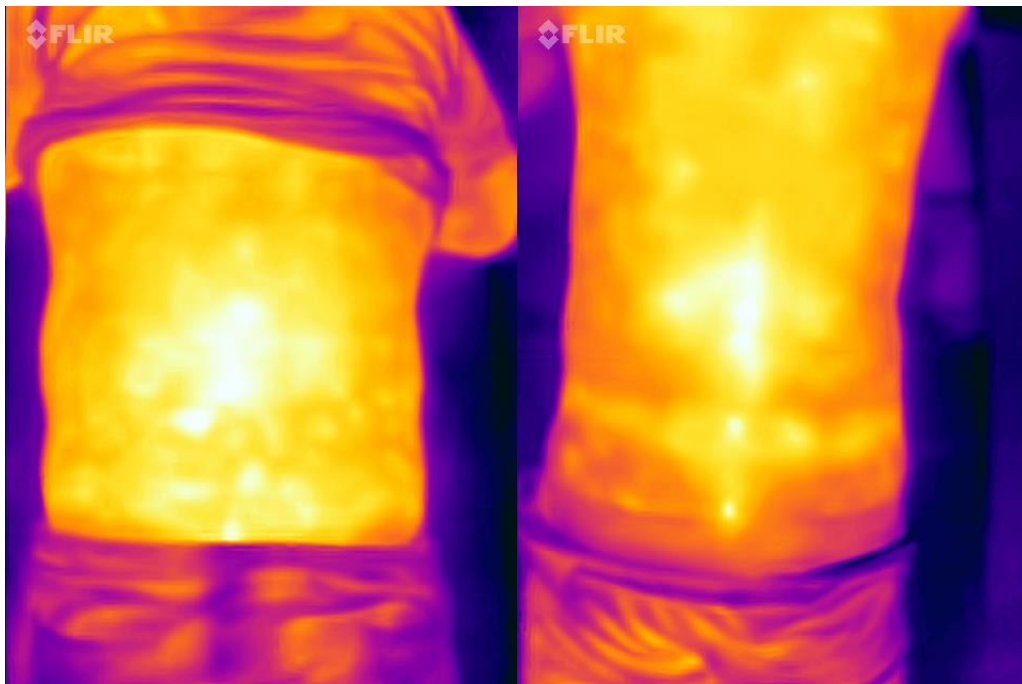


Εικόνα 34. Θερμικοί χάρτες ασθενούς σε λήψεις από διαφορετικές γωνίες και αποστάσεις [25].

Οι μετρήσεις της επιφάνειας του δέρματος των κάτω άκρων έδειξαν ότι το εύρος μπορεί να κυμαίνεται ως 7°C . Κατά μέσο όρο, υπάρχει διαφορά $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$ σε διαφορετική απόσταση λήψης και διαφορά $\Delta T = 4,6^{\circ}\text{C}$ σε διαφορετικές γωνίες λήψεις [25]. Για αυτό το λόγο, η γωνία λήψης έγινε σε όλες τις περιπτώσεις κάθετα στο σημείο θεραπείας.

➤ Σύγκριση θερμογραφημάτων

Παρατηρούνται ορισμένες διαφορές μεταξύ των ασθενών #2 και #3 όσον αφορά τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, τόσο πριν όσο και μετά τη θεραπεία. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται φωτογραφίες των εν λόγω ασθενών πριν τη θεραπεία. Όπως φαίνεται, το θερμογράφημά τους είναι πολύ κοντινό, αλλά ο θερμικός χάρτης του ασθενή #3 είναι πιο «ψυχρός». Κατά μέσο όρο, οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στον ασθενή #3 ήταν 2°C μικρότερες από το δεύτερο ασθενή.

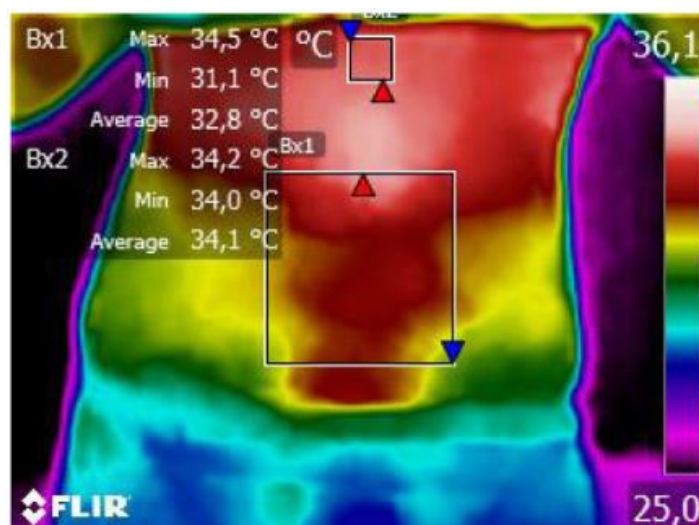


Εικόνα 35. Σύγκριση των ασθενών #2 και #3 πριν τη θεραπεία

Μετά την πραγματοποίηση της θεραπείας, η παρατηρούμενη διαφορά μεταξύ των δυο ασθενών δεν άλλαξε.

Οι παρατηρούμενες διαφορές θερμοκρασίας στην παρούσα εργασία βρίσκονται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία.

Στην έρευνα τον Araujo et al. [26], εξετάζονται εγκυμονούσες γυναίκες με παθήσεις του μυοσκελετικού (κυρίως πόνοι στην πλάτη). Το θερμογράφημα παρουσιάζει είναι σχεδόν ίδιο με το θερμογράφημα της ασθενούς #1 (επίσης γυναίκα) πριν τη θεραπεία.

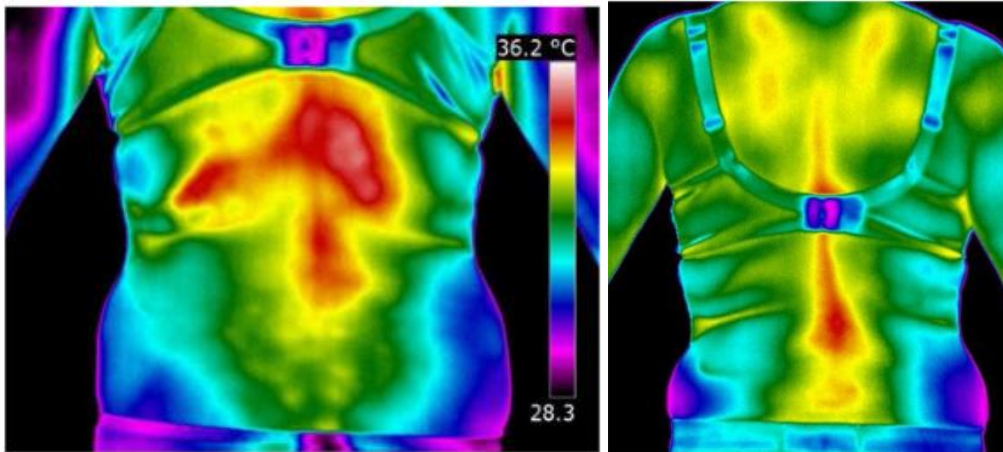


Εικόνα 36. Θερμογράφημα γυναίκας ασθενούς [26]

Ακόμα ακριβέστερη σύγκριση μπορεί να γίνει με την έρευνα των Polidori et al [27], οι οποίοι χρησιμοποίησαν τη θερμογραφία υπέρυθρου για τη διάγνωση και τη θεραπεία γυναίκας (ασθενής, 50 ετών) με μυϊκούς πόνους στη μέση.

Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι οι ασθενείς με αντίστοιχους μυϊκούς πόνους δυσκολεύονται να εντοπίσουν με ακρίβεια το σημείο πόνου (όχι την περιοχή). Για αυτό το λόγο, επιλέχθηκε η χρήση θερμοκάμερας, ώστε να βρεθεί ακριβώς το εν λόγω σημείο. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο θερμογράφημα (αριστερά), προκύπτει μια μη φυσιολογική ασύμμετρη κατανομή, όπου εντοπίζεται και το σημείο του πόνου.

Η θερμική εικόνα το δείχνει ότι η φλεγμονή εκτείνεται από τους σπονδύλους D8 - L3. Η μέγιστη φλεγμονή είναι μεταξύ D10 - L1. Αυτή η περιοχή της πλάτης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε επώδυνες καταπονήσεις γιατί φέρει το βάρος του πάνω μέρους του σώματος και συμβάλλει στη μετακίνηση. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη θερμοκρασία φτάνει στους 35,5°C στη δεξιά πλευρά, ενώ στην αριστερή πλευρά φαίνεται μια φυσιολογική θερμοκρασία γύρω στους 33,0°C.

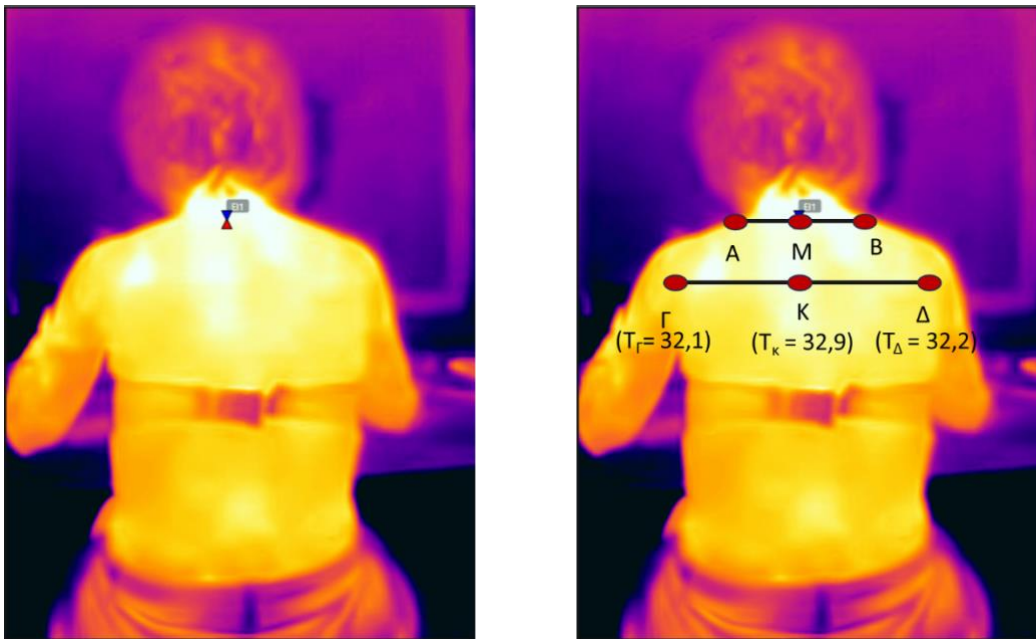


Εικόνα 37. Θερμογράφημα της ασθενούς πριν τη θεραπεία (αριστερά) και μια βδομάδα μετά τη θεραπεία (δεξιά)

➤ Σχολιασμός αποτελεσμάτων για κάθε ασθενή

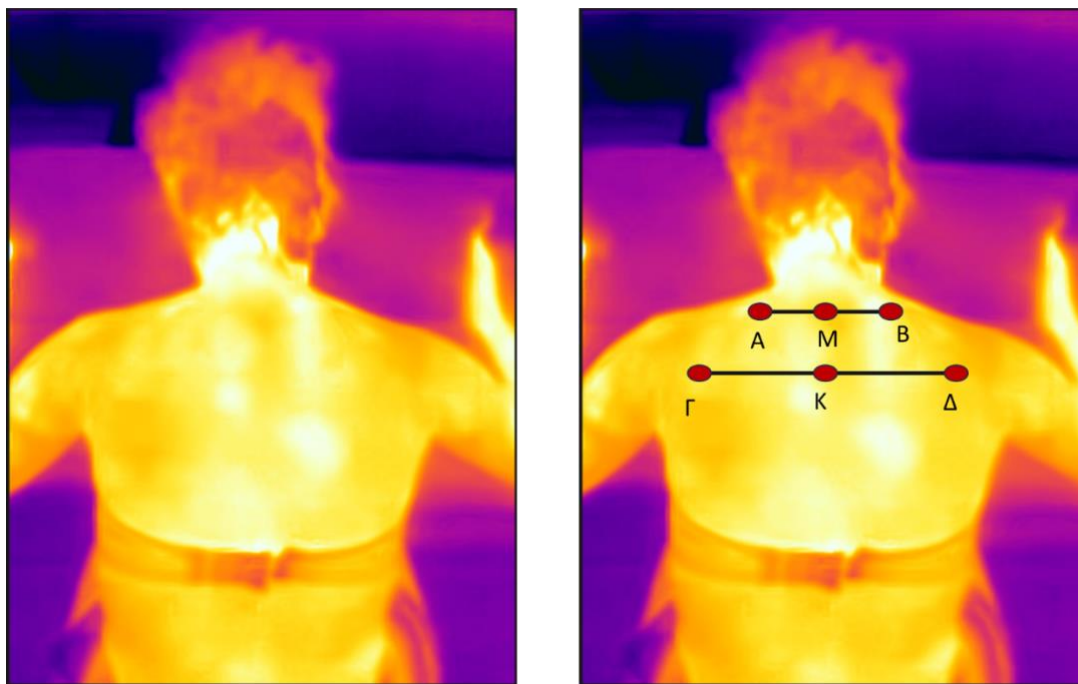
1. Ασθενής #1

Επιλέχθηκε μια φωτογραφία της ασθενούς #1 πριν τη θεραπεία. Στην ακόλουθη εικόνα δίνεται αριστερά η αρχική εκδοχή της φωτογραφίας και δεξιά μια επεξεργασμένη εκδοχή της ίδιας φωτογραφίας. Στην περιοχή του πόνου, έχουν σημειωθεί τα σημεία Α,Β, τα σημεία Γ,Δ, καθώς και τα μέσα των ευθυγράμμων τμημάτων που ορίζονται από τα δυο ζεύγη αυτά.



Εικόνα 38. Επεξεργασία φωτογραφιών της ασθενούς #1, πριν τη θεραπεία. (αριστερα): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία με σημειωμένα συγκεκριμένα σημεία πόνου

Παρατηρείται ότι στα άκρα των ευθυγράμμων τμημάτων, η θερμοκρασία είναι περίπου η ίδια σε σχέση με τα μέσα, όπου η θερμοκρασία φτάνει στη μέγιστη τιμή (βλ. Κεφάλαιο 3). Μετά τη θεραπεία, εμφανίζεται λίγο διαφορετική εικόνα στις μετρήσεις της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στα άκρα έχει πέσει κατά 1°C , ενώ στα μέσα των ευθυγράμμων τμημάτων η πτώση της θερμοκρασίας είναι μικρότερη. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη χαρτογράφηση των σημείων πόνου.



Εικόνα 39. Επεξεργασία φωτογραφιών της ασθενούς #1, μετά τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία με σημειωμένα συγκεκριμένα σημεία πόνου.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

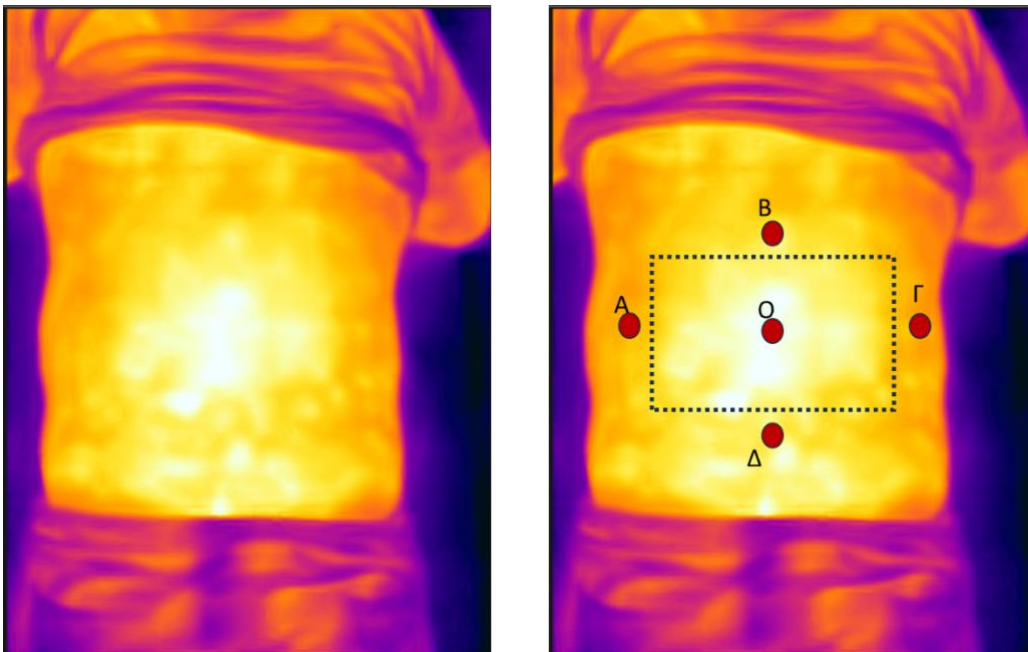
Πίνακας 6. Επεξεργασία θερμογραφημάτων της ασθενούς #1-συνοπτικά αποτελέσματα

| | Σημεία (εικόνες 38 & 39) | Διαφορά θερμοκρασίας (°C) |
|------------------|--------------------------|---------------------------|
| Πριν τη θεραπεία | A-B | 0,3 |
| | A-M | 0,1 |
| | M-B | 0,3 |
| | Γ-Δ | 0,1 |
| | Γ-K | 0,8 |
| | K-Δ | 0,7 |
| Μετά τη θεραπεία | A-B | 0,3 |
| | A-M | 0,1 |
| | M-B | 0,4 |
| | Γ-Δ | 0,0 |
| | Γ-K | 0,4 |
| | K-Δ | 0,4 |

Γνωρίζοντας εκ των προτέρων τα σημεία που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας, μπορεί να γίνει καλύτερη εκτίμηση για τα σημεία πόνου. Έτσι, μετά την εφαρμογή θεραπείας, τα σημεία Γ,Δ παρουσιάζουν την ίδια, χαμηλότερη θερμοκρασία.

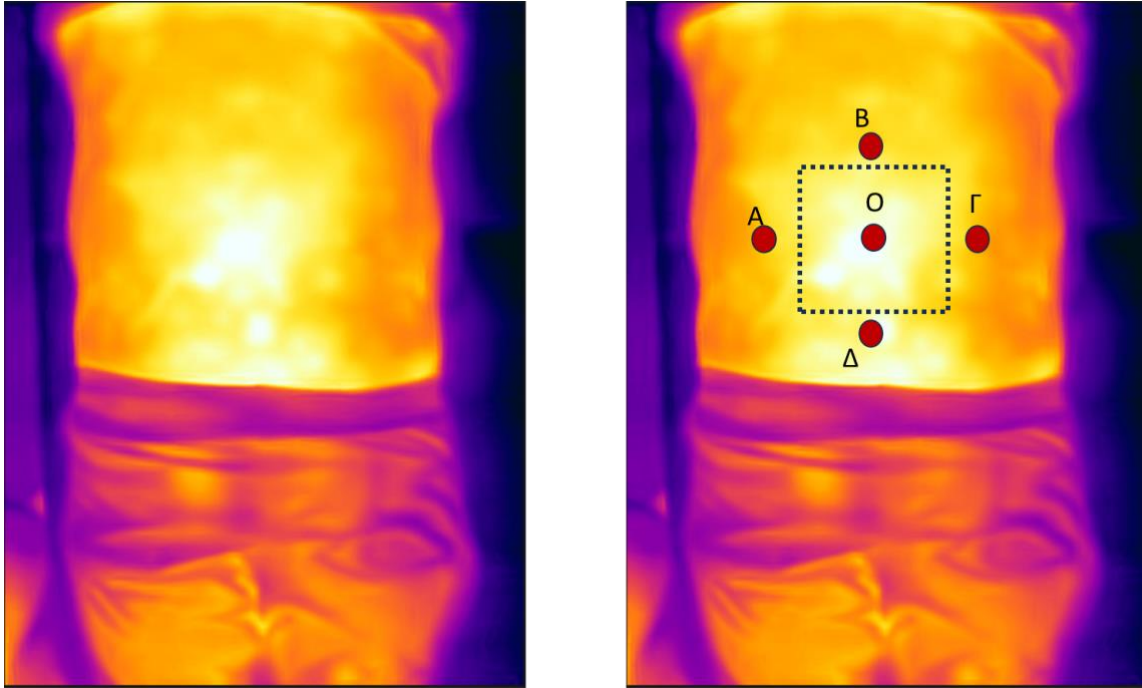
2. Ασθενής #2

Επιλέχθηκε μια φωτογραφία του ασθενούς #2 πριν τη θεραπεία. Στην ακόλουθη εικόνα δίνεται αριστερά η αρχική εκδοχή της φωτογραφίας και δεξιά μια επεξεργασμένη εκδοχή της ίδιας φωτογραφίας. Η περιοχή του πόνου εμφανίζει την υψηλότερη θερμοκρασία και σηματοδοτείται από το ορθογώνιο. Εξωτερικά της κάθε πλευράς έχει σημειωθεί ένα σημείο, ώστε να γίνει σύγκριση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 40. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #2, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.

Παρατηρείται ότι εντός του ορθογώνιο πλαισίου, η θερμοκρασία φτάνει στη μέγιστη τιμή (βλ. Κεφάλαιο 3). Μετά τη θεραπεία, εμφανίζεται λίγο διαφορετική εικόνα στις μετρήσεις της θερμοκρασίας. Η βασικότερη παρατήρηση είναι ότι η επιφάνεια του ορθογώνιου πλαισίου έχει μειωθεί 30-40%, άρα η περιοχή του πόνου έχει συρρικνωθεί. Τα εξωτερικά σημεία εμφανίζουν περίπου ίδια διαφορά θερμοκρασίας πριν και μετά τη θεραπεία.



Εικόνα 41. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #2, μετά τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.

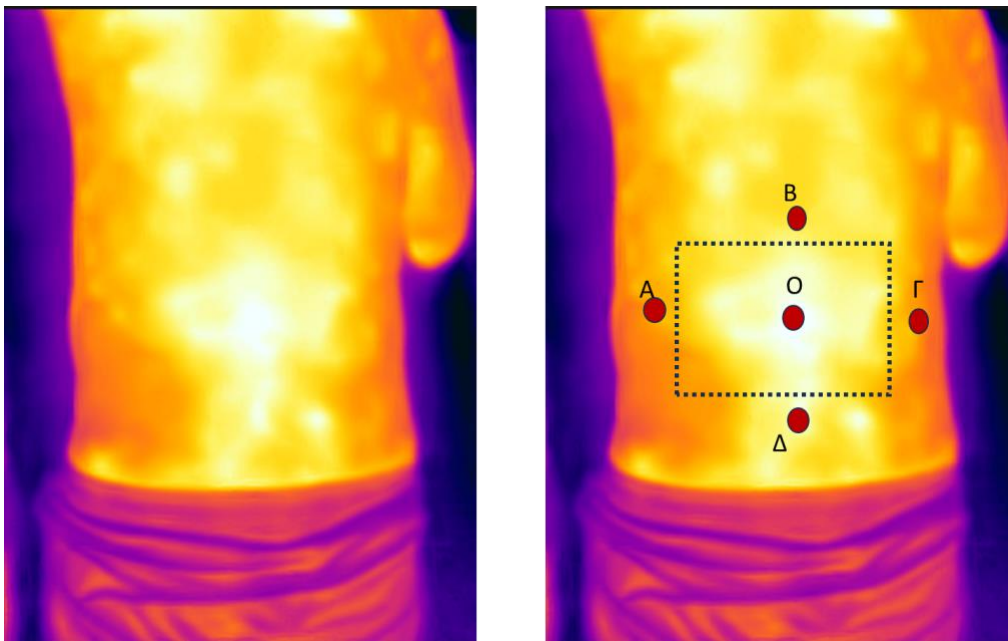
Πίνακας 7. Επεξεργασία θερμογραφημάτων του ασθενούς #2-συνολικά αποτελέσματα

| | Σημεία (εικόνες 40 & 41) | Διαφορά θερμοκρασίας(°C) |
|------------------|--------------------------|--------------------------|
| Πριν τη θεραπεία | A-B | 0,5 |
| | B-Γ | 0,4 |
| | Γ-Δ | 0,3 |
| | Δ-A | 0,8 |
| | A-O | 1,3 |
| | B-O | 0,8 |
| | Γ-O | 1,2 |
| | Δ-O | 0,5 |
| Μετά τη θεραπεία | A-B | 0,3 |
| | B-Γ | 0,3 |
| | Γ-Δ | 1,0 |
| | Δ-A | 1,0 |
| | A-O | 1,1 |
| | B-O | 0,7 |
| | Γ-O | 1,1 |
| | Δ-O | 0,5 |

Όπως φαίνεται, και πάλι η εφαρμογή της θεραπείας παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, δεν μειώθηκαν μόνο οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων, αλλά ταυτόχρονα μειώθηκαν και οι απόλυτες θερμοκρασίες σε κάθε σημείο. Στο κέντρο του ορθογωνίου, η θερμοκρασία από 33,9 έπεσε σε 32,1 °C.

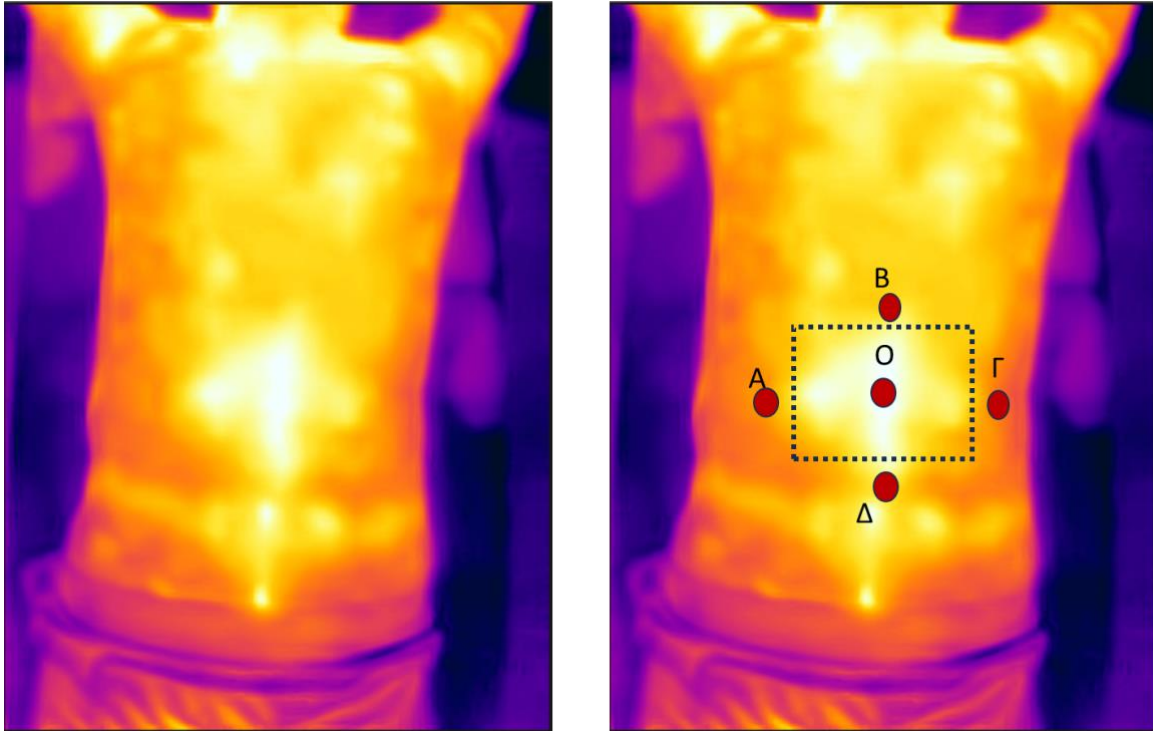
3. Ασθενής #3

Επιλέχθηκε μια φωτογραφία του ασθενούς #3 πριν τη θεραπεία. Στην ακόλουθη εικόνα δίνεται αριστερά η αρχική εκδοχή της φωτογραφίας και δεξιά μια επεξεργασμένη εκδοχή της ίδιας φωτογραφίας. Η περιοχή του πόνου εμφανίζει την υψηλότερη θερμοκρασία και σηματοδοτείται από το ορθογώνιο. Εξωτερικά της κάθε πλευράς έχει σημειωθεί ένα σημείο, ώστε να γίνει σύγκριση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 42. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #3, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία.

Παρατηρείται ότι εντός του ορθογώνιο πλαισίου, η θερμοκρασία φτάνει στη μέγιστη τιμή (βλ. Κεφάλαιο 3). Μετά τη θεραπεία, εμφανίζεται λίγο διαφορετική εικόνα στις μετρήσεις της θερμοκρασίας. Η βασικότερη παρατήρηση είναι ότι η επιφάνεια του ορθογωνίου πλαισίου έχει μειωθεί περίπου στο μισό, άρα η περιοχή του πόνου έχει συρρικνωθεί. Τα εξωτερικά σημεία εμφανίζουν περίπου ίδια διαφορά θερμοκρασίας πριν και μετά τη θεραπεία.



Εικόνα 43. Επεξεργασία φωτογραφιών του ασθενούς #3, πριν τη θεραπεία. (αριστερά): πρωτότυπη φωτογραφία, (δεξιά): επεξεργασμένη φωτογραφία

Πίνακας 8. Επεξεργασία θερμογραφημάτων του ασθενούς #3-συνολικά αποτελέσματα

| | Σημεία (εικόνες 42 & 43) | Διαφορά θερμοκρασίας(°C) |
|------------------|--------------------------|--------------------------|
| Πριν τη θεραπεία | A-B | 0,9 |
| | B-Γ | 0,9 |
| | Γ-Δ | 0,9 |
| | Δ-A | 0,9 |
| | A-O | 1,8 |
| | B-O | 0,9 |
| | Γ-O | 1,8 |
| | Δ-O | 0,9 |
| Μετά τη θεραπεία | A-B | 0,9 |
| | B-Γ | 0,9 |
| | Γ-Δ | 0,9 |
| | Δ-A | 0,9 |
| | A-O | 1,5 |
| | B-O | 0,6 |
| | Γ-O | 1,4 |
| | Δ-O | 0,5 |

Στο συγκεκριμένο ασθενή παρατηρείται στις απέναντι πλευρές του ορθογωνίου σχεδόν ίδια κατανομή θερμοκρασίας. Στο κέντρο του ορθογωνίου παρατηρήθηκε η υψηλότερη θερμοκρασία, ακόμα και σε σχέση με τους υπόλοιπους ασθενείς. Επίσης, μετά τη θεραπεία, αν και περιφερειακά του σημείου πόνου παρατηρούνται ίδιες διαφορές θερμοκρασίας, οι απόλυτες θερμοκρασίες έχουν πέσει ~ 3 °C.

➤ Δείκτης θερμοκρασίας

Για να αποτιμηθεί καλύτερα η αποδοτικότητα της θεραπείας, ορίστηκε ένας «δείκτης ποιότητας» των μετρήσεων. Ο δείκτης αυτός είναι η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας, άρα συμπεραίνεται ότι η θεραπεία έδρασε καλύτερα για τον/την ασθενή. Τα αποτελέσματα για τους εξεταζόμενους ασθενείς παρουσιάζονται παρακάτω (τα σημεία αντιστοιχούν αλφαβητικά στα αντίστοιχα σημεία των εικόνων 38-43). Σημειώνεται ότι το δείγμα της εργασίας είναι πολύ μικρό, οπότε τα συμπεράσματα δεν είναι ασφαλή.

1) Ασθενής #1

$$\Delta T_A \% = 2,1\%$$

$$\Delta T_B \% = 2,0\%$$

$$\Delta T_M \% = 2,4\%$$

$$\Delta T_\Gamma \% = 1,8\%$$

$$\Delta T_\Delta \% = 1,9\%$$

$$\Delta T_K \% = 2,5\%$$

2) Ασθενής #2

$$\Delta T_A \% = 4,8\%$$

$$\Delta T_B \% = 2,9\%$$

$$\Delta T_O \% = 2,7\%$$

$$\Delta T_\Delta \% = 3,3\%$$

$$\Delta T_\Gamma \% = 3,6\%$$

3) Ασθενής #3

$$\Delta T_A \% = 4,4\%$$

$$\Delta T_B \% = 4,3\%$$

$$\Delta T_O \% = 4,6\%$$

$$\Delta T_{\Delta} \% = 5,4\%$$

$$\Delta T_{\Gamma} \% = 5,1\%$$

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι πολύ πιο εύκολο μετά τη θεραπεία να επαναφέρουμε τα σημεία που βρίσκονται ακριβώς περιφερειακά του σημείου του πόνου, καθώς εκεί παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες μεταβολές θερμοκρασίας. Όσον αφορά τους επιμέρους ασθενείς, τη μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρούμε στον 3^ο ασθενή. Ο συγκεκριμένος, όχι μόνο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες θερμοκρασιακές, αλλά και ποσοστιαίες μεταβολές.

Σχετικά με τις διαφορές θερμοκρασίας, παρατηρούμε μία απόκλιση των τιμών μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων στα θερμογραφήματα πριν, αλλά και μετά την ηλεκτροθεραπεία.

Λαμβάνοντας υπόψη τις σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και ακρίβειας μετρήσεων στην κάθε λήψη, μπορούμε να συσχετίσουμε την απόκλιση αυτή με πιθανό σφάλμα ανιχνευτή της θερμοκάμερας που μπορεί να επέλθει με την αυξημένη επαναληψιμότητα των μετρήσεων.

Με την εξασφάλιση σταθερών συνθηκών θερμοκρασίας κατά τη λήψη θερμογραφικών εικόνων, τόσο πριν, όσο και μετά τη θεραπεία, και την αντίστοιχη διατήρηση των απόλυτων θερμοκρασιών των σημείων ενδιαφέροντος σε σταθερά επίπεδα, παρατηρούμε συστηματική μείωση θερμοκρασίας σε όλους τους ασθενείς, μετά τη θεραπευτική παρέμβαση. Συνεπώς, με αυτό τον τρόπο, επαληθεύεται η αξιοπιστία των μετρήσεων.

Διακρίνουμε επιπλέον, την ύπαρξη ομοιομορφίας μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών για κάθε ασθενή, ανεξαρτήτως της παραμέτρου ακρίβειας μετρήσεων της θερμοκάμερας ($\pm 3-5\%$).

7. Συμπεράσματα

Η Υπέρυθρη Απεικονιστική Θερμογραφία είναι μια παθητική, μη επεμβατική τεχνική που επιτρέπει την ανίχνευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα σώμα και στη συνέχεια την απεικόνισή της με τη μορφή θερμικού χάρτη κατανομής των θερμοκρασιακών μεταβολών στην επιφάνειά του.

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε με επιτυχία η υπέρυθρη απεικονιστική θερμογραφία σε τρεις ασθενείς. Η πρώτη ασθενής ήταν 43 ετών, πάσχουσα από αυχενικό σύνδρομο (αυχνεαλγία). Ο δεύτερος ασθενής ήταν 47 ετών και έπασχε από οσφυαλγία. Το τρίτο άτομο ήταν ένας άνδρας 66 ετών, πάσχων από οσφυαλγία, ασβέστομα και οστεόφυτο δεξιά στη μέση.

Λαμβάνοντας φωτογραφίες πριν τη λήψη της θεραπείας, καθίσταται ευκολότερος ο εντοπισμός των σημείων του πόνου. Έτσι, η θεραπεία μπορεί να εφαρμοστεί με ακρίβεια στα σημεία αυτά και να ανακουφιστεί ο εκάστοτε ασθενής. Πράγματι, όταν λήφθηκαν φωτογραφίες μετά τη θεραπεία, διαπιστώθηκε ότι το θερμοκρασιακό εύρος στα διάφορα σημεία ήταν μικρότερο σε σχέση με πριν, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία μειώθηκε και αυτή.

Βιβλιογραφία

- [1] C. Meola και G. Carlomagno, «Recent advances in the use of infrared thermography,» *Measurement Science and Technology*, τόμ. 15, αρ. 9, pp. 15-27, 2004.
- [2] J. Speakman και S. Ward, «Infrared thermography: principles and applications,» *Zoology*, τόμ. 101, pp. 224-232, 198.
- [3] Cleveland Clinic, «Cleveland Clinic,» 18 1 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/22278-cervical-spine>. [Πρόσβαση 4 7 2023].
- [4] E. Kohan και G. Wirth, «Anatomy of the Neck,» *Clinics in Plastic Surgery*, τόμ. 41, αρ. 1, pp. 1-6, 2014.
- [5] L. Curtis και J. Ammerman, «Cervical Spine Anatomy (Neck),» *Health Central*, 4 1 2022.
- [6] M. Yezak, «Thoracic Spine Anatomy and Upper Back Pain,» *Spine-health*, 3 4 2018.
- [7] T. Watson, «The role of electrotherapy in contemporary physiotherapy practice,» *Manual Therapy*, τόμ. 5, αρ. 3, pp. 32-41, 2000.
- [8] Chih-Chung Chen *, Ghazala Tabasam, Mark I. Johnson, "Does the pulse frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) influence hypoalgesia? A systematic review of studies using experimental pain and healthy human participants," in *Physiotherapy*, 2008, pp. 11-20.
- [9] T. Watson, «Ultrasound in contemporary physiotherapy practice,» *Ultrasonics*, τόμ. 48, αρ. 4, pp. 321-329, 2008.
- [10] J. Germi, K. Mensah-Brow, H. Chen και J. Schuster, «Use of smartphone-integrated infrared thermography to monitor sympathetic dysfunction as a surgical complication,» *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*, p. 101475, 2022.
- [11] S. Kacmaz, E. Ercelebi, S. Zengin και S. Cindoruk, «The use of infrared thermal imaging in the diagnosis of deep vein thrombosis,» *Infrared Physics & Technology*, τόμ. 86, pp. 120-129, 2017.
- [12] «Use of infrared thermography in a case of systemic envenomation by the coral snake *Micrurus frontalis* (Duméril et al., 1854) in Sao Paulo, Brazil,» *Toxicon*, τόμ. 163, pp. 70-73, 2019.
- [13] S. Ekici και H. Jawzal, «Breast cancer diagnosis using thermography and convolutional neural networks,» *Medical Hypotheses*, τόμ. 137, p. 109542, 2020.
- [14] D. Rodrigues-Bigaton, A. Dibai Filho, A. de Souza Costa, A. Packer και E. de Castro, «ACCURACY AND RELIABILITY OF INFRARED THERMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF ARTHRALGIA IN WOMEN WITH TEMPOROMANDIBULAR DISORDER,» *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, τόμ. 36, αρ. 4, pp. 253-258, 2013.
- [15] A. Astasio-Picado, E. Martínez και B. Gómez-Martín , «Comparative thermal map of the foot between patients with and without diabetes through the use of infrared thermography,» *Enfermería Clínica (English Edition)*, τόμ. 30, αρ. 2, pp. 119-123, 2020.

- [16] P. Lin, A. Echeverria και M. Poi, «Infrared thermography in the diagnosis and management of vasculitis,» *Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques*, τόμ. 3, αρ. 3, pp. 112-114, 2017.
- [17] F. Roggio, L. Petrigna, V. Filetti, E. Vitale, V. Rapisarda και G. Musumeci, «Infrared thermography for the evaluation of adolescent and juvenile idiopathic scoliosis: A systematic review,» *Journal of Thermal Biology*, τόμ. 113, p. 103524, 2023.
- [18] A. Saxena, E. Ng και S. Lim, «Infrared (IR) thermography as a potential screening modality for carotid artery stenosis,» *Computers in Biology and Medicine*, τόμ. 113, p. 103419, 2019.
- [19] A. Cabizosu, N. Carboni, A. Figus, J. Vegara-Meseguera, G. Casu, P. Hernández Jiménez και A. Martínez-Almagro Andreo, «Is infrared thermography (IRT) a possible tool for the evaluation and follow up of Emery-Dreifuss muscular dystrophy? A preliminary study,» *Medical Hypotheses*, τόμ. 127, pp. 91-96, 2019.
- [20] S. Curkovic, A. Antabak, D. Haluzan, T. Luetic, I. Prlic και J. Sisko, «Medical thermography (digital infrared thermal imaging – DITI) in paediatric forearm fractures – A pilot study,» *Injury*, τόμ. 46S, pp. 36S-39S, 2015.
- [21] A. Strumila, V. Kazlauskas, G. Pošiūnas, G. Verkauskas και V. Beisa, «Infantile hemangioma: Predicting proliferation by infrared thermography,» *MEDICINA*, τόμ. 53, pp. 85-89, 2017.
- [22] Á. Sosa Machado, W. da Silva, J. Priego Quesada και F. Carpes, «Can infrared thermography serve as an alternative to assess cumulative fatigue in women?,» *Journal of Thermal Biology*, τόμ. 115, p. 103612, 2023.
- [23] C. Ovalle, W. Auccahuasi, S. Meza, F. Buiza, K. Rojas, M. Cosme, M. Inciso-Rojas, G. Aiquipah, H. Campos Martinez, A. Fuentes και A. Auccahuasi, «Muscle temperature analysis, using thermal imaging, applied to the treatment of muscle recovery,» *Procedia Computer Science*, τόμ. 218, p. 1247–1256, 2023.
- [24] W. der Strasse, D. Prado Campos, C. Aguiar Mendonça, J. Soni, J. Mendes και P. Nohama, «Detecting bone lesions in the emergency room with medical infrared thermography,» *BioMedical Engineering*, pp. 21-35, 2022.
- [25] M. TKÁČOVÁ, R. HUDÁK, P. FOFFOVÁ και J. ŽIVČÁK, «AN IMPORTANCE OF CAMERA – SUBJECT DISTANCE AND ANGLE IN MUSCULOSKELETAL APPLICATIONS OF MEDICAL THERMOGRAPHY,» *Acta Electrotechnica et Informatica*, τόμ. 10, αρ. 2, pp. 57-60, 2010.
- [26] C. Araujo, D. de Sousa Dantas, D. de Santana, M. Brioschi, C. Souto Ferreira και J. Netto Maia, «Thermography evaluation of low back pain in pregnant women: Cross-sectional study,» *Journal of Bodywork & Movement Therapie*, τόμ. 28, pp. 478-482, 2021.
- [27] G. Polidori, M. Kinne, T. Mereu, F. Beaumont και M. Kinne, «Medical Infrared Thermography in back pain osteopathic management,» *Complementary Therapies in Medicine*, τόμ. 39, p. 19–23, 2018.

Παράρτημα

Περιβάλλον λογισμικού FLIR – παρουσίαση επεξεργασία μετρήσεων

