



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ, ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΓΜΑΤΩΝ ΟΣΤΩΝ
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑΣ**



ΦΟΙΤΗΤΕΣ : ΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ Α.Μ. : 2485

ΔΗΜΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ Α.Μ. : 2496

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : Δρ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΙΓΙΟ 2021

**THE EFFECT OF SOUND, LIGHT AND
ELECTROMAGNETIC ENERGY IN BONE
FRACTURE REPAIR**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά τον υπεύθυνο, εισηγητή και καθηγητή μας για την έρευνα αυτή Δρ Κουτσογιάννη Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Φυσικοθεραπείας Πανεπιστημίου Πατρών, για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθειά του με στόχο την εκπόνηση της κάτωθι εργασίας. Επίσης, ευχαριστούμε από καρδιάς τις οικογένειές μας και τους φίλους μας για την στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή: Στην παρούσα εργασία, έπειτα από την αρθρογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε συλλέχθηκαν δεδομένα που σχετίζονται με την ανατομία, μορφολογία και δομή των οστών του ανθρώπινου σώματος, την παθοφυσιολογία ενός κατάγματος, τρόπους με τους οποίους πραγματοποιείται η πάρωση καταγμάτων φυσικά καθώς και πώς μπορεί αυτή να επιταχυνθεί με τη βοήθεια των φυσικών μέσων της φυσικοθεραπείας είτε σε συνδυασμό με χειρουργική επέμβαση είτε δίχως άλλη παρέμβαση πλην της φυσικοθεραπείας.

Σκοπός: Σκοπός της μελέτης είναι να παρουσιαστούν οι διαδικασίες με τις οποίες μπορούν τα φυσικά μέσα να βοηθήσουν στο να επιταχυνθεί η επούλωση των οστών που έχουν υποστεί οποιαδήποτε αλλοίωση εξαιτίας ενός κατάγματος. Η πάρωση των οστών στο μέγιστο βαθμό, μέσω των φυσικών μέσων που χρησιμοποιούνται, αποτελεί προτεραιότητα για την επιστήμη της φυσικοθεραπείας, η οποία συνεχώς εξελίσσεται και δημιουργεί νέους ορίζοντες όσον αφορά την βελτιστοποίηση της ζωής των ανθρώπων.

Μεθοδολογία: Στην παρούσα έρευνα αναλύονται τα θεωρητικά μέρη σε τέσσερα κεφάλαια και η αρθρογραφική ανασκόπηση σε ένα ενιαίο μέρος. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η δομή των οστών, στο δεύτερο παρουσιάζεται η φυσιολογία των καταγμάτων, στο τρίτο εξηγείται η διαδικασία επούλωσης των οστών ενώ στο τέταρτο περιγράφονται οι αρχικές βασικές λειτουργίες των τεσσάρων φυσικών μέσων. Η αναζήτηση της προτεινόμενης αρθρογραφίας πραγματοποιείται σε διάφορες επιστημονικές βάσεις δεδομένων μεταξύ των οποίων οι Pubmed, Medline, NCBI και Google Scholar καθώς προσανατολίζεται και σε βιβλιογραφικές πηγές φυσικοθεραπευτικού ενδιαφέροντος. Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα κριτήρια αξιοπιστίας και εγκυρότητας. Επίσης, επιλέχθηκαν συγκεκριμένες λέξεις κλειδιά ώστε η έρευνα να είναι περισσότερο στοχευμένη.

Συμπεράσματα: Τα ηλεκτροφυσικά μέσα είναι αποτελεσματικά στην επιτάχυνση της πάρωσης καταγμάτων όταν εφαρμόζονται με σωστές παραμέτρους.

Λέξεις κλειδιά: bone repair, fracture, porosis, ultrasound, magnetic fields, Low-level laser therapy, Low intensity pulsed ultrasound, electrical stimulation, rat fracture, dog fracture, rabbit fracture, LLLT, LIPUS

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	4
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</u>	4
1.1 ΤΑ ΟΣΤΑ.....	4
1.2 ΔΟΜΗ ΟΣΤΩΝ	4
1.3 ΔΙΑΠΛΑΣΗ ΟΣΤΩΝ	5
1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΣΤΩΝ	6
1.5 ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ.....	7
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</u>	9
2.1 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΓΜΑΤΩΝ.....	9
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΤΑΓΜΑΤΩΝ	9
2.3 ΚΛΙΝΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ - ΔΙΑΓΝΩΣΗ.....	12
2.4 ΘΕΡΑΠΕΙΑ.....	15
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</u>	17
3.1 ΕΠΟΥΛΩΣΗ ΟΣΤΩΝ.....	17
3.2 ΕΠΙΒΑΡΥΝΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΠΩΦΕΛΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	23
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</u>	25
4.1 LASER.....	25
4.2 ΜΑΓΝΗΤΟΘΕΡΑΠΕΙΑ.....	26
4.3 ΥΠΕΡΗΧΟΣ	28
4.4 ΗΛΕΚΤΡΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	29
4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ	31
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</u>	33
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	33
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ	34
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</u>	58
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ.....	61

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: <i>Κύτταρα υπεύθυνα για την διάπλαση των οστών</i> http://www.aiavramidis.gr/wp-content/uploads/PAR-34.pdf?fbclid=IwAR2XN7E1ZUxK_v-btqjb	6
Εικόνα 2: <i>Κάταγμα</i> https://www.britannica.com/science/fracture-of-bone	12
Εικόνα 3: <i>Απεικόνιση Μαγνητικού συντονισμού (Kiuru et al., 2004)</i>	14
Εικόνα 4: <i>Τα αρχικά συμβάντα που εμπλέκονται στην επούλωση κατάγματος του μακρού οστού. Το περίοστεο είναι σχισμένο απέναντι από το σημείο πρόσκρουσης και, σε πολλές περιπτώσεις, είναι άθικτο στην άλλη πλευρά. Υπάρχει συσσώρευση αιματώματος κάτω από το περίοστεο και μεταξύ των άκρων του κατάγματος. Υπάρχει νεκρωτικός μυελός και νεκρό οστό κοντά στη γραμμή κατάγματος (Childs, 2003)</i>	21
Εικόνα 5: <i>Πρόωρη επισκευή. Υπάρχει οργάνωση του αιματώματος, πρώιμος πρωτογενής νέος σχηματισμός οστού και σχηματισμός χόνδρου σε άλλες περιοχές (Childs, 2003)</i>	21
Εικόνα 6: <i>Σε μεταγενέστερο στάδιο της επισκευής, το πρώιμο ανώριμο οστό ινών γεφυρώνει το κενό θραύσης. Ο επίμονος χόνδρος παρατηρείται σε σημεία πιο απομακρυσμένα από τα τριχοειδή. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτά περιβάλλονται από καινούργιο νέο οστό (Childs, 2003)</i>	22
Εικόνα 7: <i>Επούλωση οστών - Μια μικροσυστοιχία διακόπτει τα κανάλια, τα οποία προκαλούν απόπτωση οστεοκυττάρων, με τη θέση και την έκταση της βλάβης που ορίζονται από τα σήματα στα κύτταρα επένδυσης. Τα κύτταρα επένδυσης και τα οστεοκύτταρα απελευθερώνουν τοπικούς παράγοντες που προσελκύουν κύτταρα από το αίμα και το μυελό στο διαμέρισμα αναδιαμόρφωσης ποια οστεοκλαστογένεση συμβαίνει. Οι οστεοκλάστες απορροφούν τη μήτρα και την μικροσυστοιχία, στη συνέχεια διαδοχικές ομάδες οστεοβλαστών καταθέτουν νέο ελασματοειδές οστό. Οι οστεοβλάστες που παγιδεύονται στη μήτρα γίνονται οστεοκύτταρα. άλλοι πεθαίνουν ή σχηματίζουν νέα, πεπλατυσμένα κύτταρα επένδυσης οστεοβλαστών (Seeman & Delmas, 2006).</i> ..	22
Εικόνα 8: <i>Θεραπεία LASER</i> https://www.joharidigital.com/laser-therapy-for-pain/	26
Εικόνα 9: <i>Μαγνητοθεραπεία (Daish et al., 2018)</i>	28
Εικόνα 10: <i>Υπέρηχος (Sun et al., 2019)</i>	29
Εικόνα 11: <i>Ηλεκτροθεραπεία (Leppik et al., 2020)</i>	31

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στην επίδραση της ηχητικής, φωτεινής και ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στην αποκατάσταση καταγμάτων οστών. Η εργασία έχει ως σκοπό να παρουσιάσει τις επιδράσεις των φυσικών μέσων αυτών στην επούλωση ενός κατάγματος. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Αρχικά, γίνεται λεπτομερής ανάλυση της δομής των οστών και των εμβιομηχανικών τους δυνατοτήτων. Έπειτα περιγράφεται η φύση των καταγμάτων και στο επόμενο κεφάλαιο η διαδικασία της φυσικής επούλωσης των οστών. Εν συνεχεία, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής καταγραφή των ιδιοτήτων και παραμέτρων των φυσικών μέσων που περιλαμβάνονται στην έρευνα. Τέλος, σειρά έχει το ειδικό μέρος στο οποίο γίνεται αναλυτική και στοχευμένη παρουσίαση των αποτελεσμάτων δώδεκα ερευνών με κεντρικό πυρήνα τα φυσικά μέσα αυτά.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΤΑ ΟΣΤΑ

Τα οστά συνθέτουν το σκελετικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος και αποτελούν ένα σκληρό τύπο συνδετικού οστού ο οποίος καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του σκελετού. Κάθε οστό περιβάλλεται από ένα στρώμα ινώδους συνδετικού ιστού ενώ στα σημεία όπου βρίσκονται οι αρθρικοί χόνδροι υπάρχει το περίοστεο και το περιχόνδριο το οποίο καλύπτει τον χόνδρο. Το περίοστεο και το περιχόνδριο είναι ιδιαίτερα σημαντικά κατά τη διάρκεια της επούλωσης των καταγμάτων καθώς έχουν τη δυνατότητα να εναποθέτουν χόνδρο ή οστίτη ιστό διευκολύνοντας την πρόσφυση συνδέσμων και τενόντων.

Κύριες λειτουργίες των οστών είναι:

- Στήριξη
- Προστασία ζωτικών οργάνων
- Μηχανική βάση για την εκτέλεση κίνησης (μοχλοί)
- Αποθήκευση αλάτων (ασβεστίου)
- Διαρκής συνεισφορά νέων ερυθρών αιμοσφαιρίων (Moore *et al.*, 2016)

1.2 ΔΟΜΗ ΟΣΤΩΝ

Ανάλογα με το ποσό της συμπαγούς ουσίας που περιέχουν τα οστά διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες: συμπαγές ή φλοιώδες οστό και σπογγώδες ή δοκιδώδες οστό.

Στο συμπαγές οστό υπάρχουν οι σωλήνες Havers με αγγεία και νεύρα ενώ γύρω από αυτούς διατάσσεται σε συμπαγείς κυλινδρικούς φλοιούς ο οστίτης ιστός (Κορρές *et al.*, 2010). Εμφανίζει επίσης αντίσταση στην μεταφορά του βάρους και γι' αυτό το λόγο η ποσότητά του είναι μέγιστη κοντά στη διάφυση των μακρών οστών όπου προσφύονται μεγάλοι μύες και είναι επιρρεπή στα κατάγματα. Το σπογγώδες οστό σχηματίζεται από ξεχωριστές οστέινες δοκίδες ανάμεσα στις οποίες βρίσκεται ο μυελός των οστών στον οποίο σχηματίζονται τα έμμορφα συστατικά του αίματος και τα αιμοπετάλια (Platzer *et al.*, 2011).

Σε ένα πρώτο επίπεδο, το οστεοειδές, η πρωτογενής δηλαδή οστέινη ουσία, είναι το βασικό συστατικό τόσο του συμπαγούς όσο και του σπογγώδους οστού. Σε δεύτερο επίπεδο, παρατηρούμε δύο τύπους οστίτη ιστού οι οποίοι διαφέρουν ως προς την αρχιτεκτονική τους

δομή καθώς επίσης και την πυκνότητα τους. Σε ένα τρίτο επίπεδο, οι διαφορετικοί συνδυασμοί ποσότητας και κατανομής σπογγώδους και φλοιώδους ουσίας προσδίδουν μια μοναδική εμβιομηχανική συμπεριφορά που εξυπηρετεί την εξατομικευμένη λειτουργία των επιμέρους οστών του σκελετικού συστήματος (Κορρές *et al.*, 2010).

1.3 ΔΙΑΠΛΑΣΗ ΟΣΤΩΝ

Παρά την αδρανή εμφάνισή του, το οστό είναι ένα εξαιρετικά δυναμικό όργανο που απορροφάται συνεχώς από οστεοκλάστες και διαμορφώνεται εκ νέου από οστεοβλάστες. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα οστεοκύτταρα δρουν ως μηχανικοί αισθητήρες και ενορχηστρωτές αυτής της διαδικασίας αναδιαμόρφωσης των οστών.

Προέλευση όλων των οστών αποτελεί το μεσέγγυμα, δηλαδή ο εμβρυϊκός συνδετικός ιστός. Η διαδικασία της οστεοποίησης πραγματοποιείται μέσω δύο τρόπων:

1. Την **υμενώδη ή μεμβρανώδη** (Platzer *et al.*, 2011) οστεοποίηση και
2. την **χόνδρινη οστεοποίηση**

Παρακάτω αναλύονται τα κύτταρα που είναι υπεύθυνα για τη διάπλαση των οστών.

ΟΣΤΕΟΒΛΑΣΤΕΣ

Οι οστεοβλάστες είναι κυβοειδή κύτταρα που βρίσκονται κατά μήκος της οστικής επιφάνειας που περιλαμβάνει το 4-6% των συνολικών κατοικημένων οστικών κυττάρων και είναι σε μεγάλο βαθμό γνωστά για τη λειτουργία σχηματισμού οστών (Florencio-Silva *et al.*, 2015).

Οι οστεοβλάστες είναι κύτταρα μεσεγγυματικής προέλευσης υπεύθυνα για τη δημιουργία του οστίτη ιστού. Αυτά τα κύτταρα παράγουν πρωτεΐνες εξωκυτταρικής μήτρας κατά τον αρχικό σχηματισμό οστού και αργότερα βοηθούν στην αναδιαμόρφωση των οστών. Ο σχηματισμός οστού είναι μια αυστηρά ρυθμισμένη διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής ανάπτυξης και της επιδιόρθωσης του κατάγματος (Aubin, 2001). Ο σχηματισμός οστού χαρακτηρίζεται από μια αλληλουχία γεγονότων που αρχίζουν με τη δέσμευση των οστεοπρογονικών κυττάρων και τη διαφοροποίησή τους σε προ-οστεοβλάστες και στη συνέχεια σε ώριμους οστεοβλάστες των οποίων η λειτουργία είναι να συνθέσουν τη μήτρα των οστών.

ΟΣΤΕΟΚΛΑΣΤΕΣ

Οι λειτουργικοί οστεοκλάστες μπορούν να βρεθούν τόσο στο δοκιδωτό όσο και στο φλοιώδες οστό. Στο δοκιδωτό οστό οι οστεοκλάστες βρίσκονται στην επιφάνεια των δοκίδων και στο

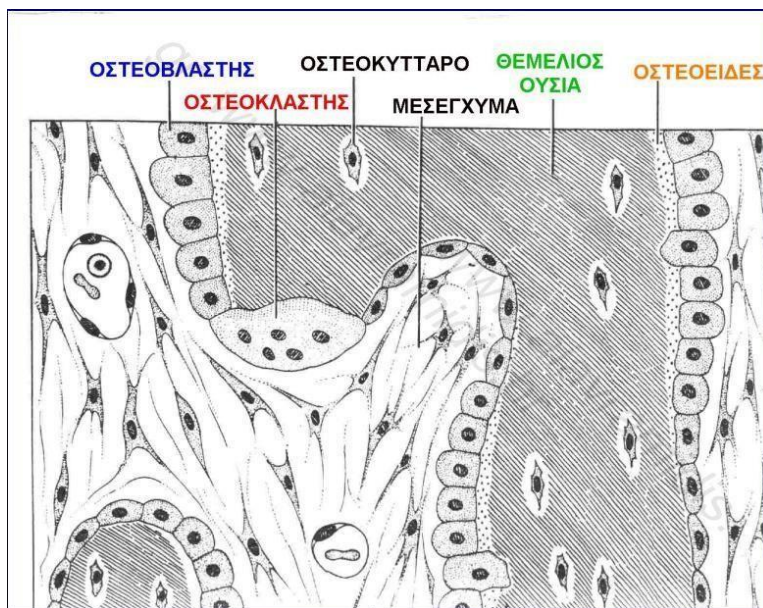
φλοιώδες οστό στην άκρη του σχηματισμού οστεονίων. Οι οστεοκλάστες διαφοροποιούνται από αιματοποιητικά βλαστοκύτταρα στον μυελό των οστών (Väänänen, 2005; Florencio-Silva *et al.*, 2015).

ΚΥΤΤΑΡΑ ΟΣΤΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Τα κύτταρα επένδυσης των οστών είναι οστεοβλάστες επίπεδου σχήματος που καλύπτουν τις οστικές επιφάνειες, όπου δεν εμφανίζεται ούτε απορρόφηση οστού ούτε σχηματισμός οστού.

ΟΣΤΕΟΚΥΤΤΑΡΑ

Τα οστεοκύτταρα, τα οποία αποτελούν το 90-95% των συνολικών οστικών κυττάρων, είναι τα πιο άφθονα και μακρόβια κύτταρα, με διάρκεια ζωής έως 25 έτη. Διαφορετικά από τους οστεοβλάστες και τους οστεοκλάστες, οι οποίοι έχουν οριστεί από τις αντίστοιχες λειτουργίες τους κατά τη διάρκεια του σχηματισμού οστού και της οστικής απορρόφησης, τα οστεοκύτταρα ορίστηκαν νωρίτερα από τη μορφολογία και τη θέση τους. Η μέγιστη οστική μάζα επιτυγχάνεται στην ηλικία των 25 ετών (Lane *et al.*, 2000).



Εικόνα 1: Κύτταρα υπεύθυνα για την διάπλαση των οστών http://www.aiavramidis.gr/wp-content/uploads/PAR-34.pdf?fbclid=IwAR2XN7E1ZUxK_v-btqjb-AHPXuHsgLkIbjlI3uid8jLuupRZXPV1kfOgBs

1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΣΤΩΝ

Τα οστά είναι εκείνα που αποτελούν τον οστίτη ιστό. Μαζί με τις αρθρώσεις δημιουργούν το παθητικό κινητικό σύστημα το οποίο ελέγχεται ενεργητικά από το μυϊκό σύστημα. Τα σχήματά τους διαφέρουν ανάλογα με τη θέση τους πάνω στο σώμα καθώς επίσης και με τη λειτουργία τους. Επομένως, σύμφωνα με το σχήμα τους παρατηρούμε τις παρακάτω κατηγορίες οστών:

- **Μακρά οστά:** αποτελούνται από τη διάφυση ή σώμα του οστού και τα δύο άκρα του ή αλλιώς επίφυση. Στο κέντρο του σώματος υπάρχει η μυελώδης κοιλότητα στην οποία περιέχεται ερυθρός ή κίτρινος μυελός. Γι' αυτό το λόγο τα συγκεκριμένα οστά ονομάζονται αυλοειδή και αυξάνονται κυρίως προς μία κατεύθυνση
- **Πλατιά οστά:** συνήθως χρησιμεύουν για προστασία όπως για παράδειγμα τα οστά του κρανίου ή η ωμοπλάτη
- **Βραχέα οστά:** κυβοειδή οστά που βρίσκονται κυρίως στον καρπό και τον ταρσό
- **Ανώμαλα οστά:** είναι τα οστά που έχουν διάφορα σχήματα και δεν μπορούν να ενταχθούν σε καμία από τις υπόλοιπες κατηγορίες (π.χ. σπόνδυλοι, οστά προσώπου) (Moore *et al.*, 2016)
- **Αεροφόρα οστά:** περιέχουν κοιλότητες γεμάτες με αέρα που επενδύονται από βλεννογονικές μεμβράνες (π.χ. ηθμοειδές οστό κρανίου, κάτω γνάθος) (Platzer *et al.*, 2011)
- **Σησαμοειδή οστά:** αναπτύσσονται σε ορισμένους τένοντες και παρατηρούνται όπου χιάζονται οι τένοντες με τα μακρά οστά. Προστατεύουν τους τένοντες από την υπερβολική φθορά και πολλές φορές μεταβάλλουν τη γωνία των τενόντων καθώς αυτοί πορεύονται προς τις καταφύσεις τους. Το μεγαλύτερο σησαμοειδές οστό είναι η επιγονατίδα ενώ τα υπόλοιπα μικρότερα βρίσκονται στην άκρα χείρα και τον άκρο πόδα (Moore *et al.*, 2016)

1.5 ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η αντοχή του οστού καθορίζεται από τη σύνθεση και τη δομή του υλικού. Το οστό πρέπει να είναι άκαμπτο και ικανό να αντιστέκεται στην παραμόρφωση, καθιστώντας έτσι δυνατή τη φόρτιση (Seeman & Delmas, 2006).

Μεταξύ άλλων, μία από τις βασικότερες λειτουργίες των οστών αποτελεί η στήριξη και η ανθεκτικότητά τους στην εφαρμογή φορτίων. Τα οστά κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η επίδραση μεγάλων δυνάμεων πάνω σε αυτά, αρκεί βέβαια να κατανεμηθούν με σωστό τρόπο. Όταν ένα οστό υποβάλλεται σε φορτία, δέχεται τάσεις και παραμορφώσεις σε όλη την έκτασή του με ένα πολύπλοκο τρόπο. Για να είναι περισσότερο κατανοητή η επίδραση των φορτίων αυτών πάνω σε ένα οστό, συνήθως εξετάζονται σε διαφορετικά επίπεδα και άξονες. Πιο αναλυτικά :

- **Εφελκυσμός ή διάταση:** όταν το οστό δέχεται εφελκυστικές τάσεις στο άνω και κάτω πέρας του ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να δίνεται η αίσθηση διάτασης του οστού

- **Συμπίεση ή θλίψη:** η επιβολή αξονικών πιέσεων που προκύπτουν κατά κύριο λόγο από τις μυϊκές δυνάμεις και τις αντιδράσεις των αρθρώσεων. Σε αυτή την περίπτωση τα φορτία έχουν την τάση να συμπιέσουν το οστό προς τη μεσότητα του
- **Καμπτικά φορτία:** το οστό δέχεται καμπτικά φορτία και ο άξονας του κυρτώνεται με αποτέλεσμα να υστερεί της αρχικής μορφής του. Στην κυρτή πλευρά του το οστό δέχεται εφελκυστικές δυνάμεις, ενώ στην αντίθετη, κοίλη πλευρά του δέχεται συμπιεστικές δυνάμεις. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της μεγαλύτερης ανθεκτικότητας των μακρών οστών σε θλίψη από ότι σε εφελκυσμό παρατηρούνται πρώτα ρωγμές στην κυρτή πλευρά, εκεί δηλαδή όπου εφαρμόζονται οι εφελκυστικές τάσεις
- **Στρεπτικά φορτία:** ονομάζονται με αυτό τον τρόπο εξαιτίας των φορτίων στρέψης που δημιουργούν στο οστό. Ουσιαστικά προκαλούν διατμητικές τάσεις καθώς γειτονικές εγκάρσιες διατομές συστρέφονται αντίθετα ή μια προς την άλλη και τείνουν να απομακρυνθούν μεταξύ τους
- **Συνδυασμένα φορτία:** στην πραγματικότητα τα οστά υποβάλλονται συνήθως σε συνδυασμό φορτίων εφελκυσμού, συμπίεσης, διάτμησης και στρέψης και το αποτέλεσμά τους είναι η συνισταμένη όλων αυτών. Κατάγματα αυτού του τύπου επέρχονται συνήθως όταν οι τάσεις αυτές υπερβούν το κατώφλι ευθραυστότητας του οστού (Huang *et al.*, 2018)
- **Φορτία κόπωσης:** συμβαίνουν όταν ένα οστό δέχεται επαναλαμβανόμενα φορτία χαμηλής τάσης. Ωστόσο, κάθε οστό έχει την ιδιότητα να ανακατασκευάζει και να επιδιορθώνει τις μικρές ρωγμές που εκδηλώνονται λόγω των χαμηλών φορτίων. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι η δημιουργία κατάγματος συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος πως ο οστίτης ιστός αδυνατεί πλέον να αντιμετωπίσει μέσω του ανακατασκευαστικού του μηχανισμού αυτά τα φορτία εξαιτίας της συχνότητας των επαναλήψεων (Korρές *et al.*, 2010)

Το οστό είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στην άσκηση και το μηχανικό φορτίο. Κάτω από μια κατάσταση χωρίς φορτίο τα οστά φθίνουν. Τα χαμηλά φορτία διατηρούν το οστό ενώ τα υψηλά φορτία αναδιαμορφώνουν το οστό. Ωστόσο, πολύ υψηλά φορτία οδηγούν στην λύση της δομής των οστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΓΜΑΤΩΝ

Κάταγμα καλείται η διακοπή της δομικής συνέχειας ενός οστού. Ο μηχανισμός πρόκλησής του ποικίλει ανάλογα την περίπτωση. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως κύριο αιτιολογικό παράγοντα παρουσίας ενός τέτοιου φαινομένου συνιστά η άσκηση ενός βαθμού φόρτισης στο οστό. Δεν έχουν όλα τα κατάγματα την ίδια παθογένεια ή δομικές ανωμαλίες που προκαλούν την ευθραυστότητα των οστών. Ορισμένα κατάγματα σχετίζονται με μειωμένη οστική πυκνότητα ενώ σε άλλα υπάρχει μειωμένη πυκνότητα οστεοκυττάρων (Seeman and Delmas, 2006). Είναι γνωστό ότι το κολλαγόνο παίζει κρίσιμο ρόλο στη δομή και τη λειτουργία του οστικού ιστού (Florencio-Silva *et al.*, 2015). Επομένως, η απουσία κολλαγόνου είναι ικανή να προκαλέσει προβλήματα όσον αφορά την ομαλή λειτουργία των οστικών κυττάρων με συνέπεια την πρόκληση κατάγματος.

Τα κατάγματα ευθραυστότητας είναι, ωστόσο, ένα εξέχον χαρακτηριστικό ορισμένων σπάνιων ασθενειών που είναι κυρίως γενετικής φύσης, συμπεριλαμβανομένης της ατελούς οστεογένεσης και το σύνδρομο οστεοπόρωσης-ψευδογλοιώματος (Ralston, 2002).

Η ετερογένεια των μηχανισμών υποδηλώνει ότι όλοι οι ασθενείς με κατάγματα ευθραυστότητας δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο (Seeman and Delmas, 2006). Πιο αναλυτικά, το κάταγμα είναι αποτέλεσμα φόρτισης του οστού σε τέτοιο βαθμό που ξεπερνά το όριο αντοχής του. Το φορτίο αυτό μπορεί να είναι:

- Μεγάλης έντασης δημιουργώντας αστραπιαία τραυματισμό
- Επαναλαμβανόμενης φυσιολογικής έντασης
- Φυσιολογικής έντασης που ασκείται σε παθολογικό οστό

Κατά την διαδικασία πρόκλησης των καταγμάτων αναπόφευκτα προσβάλλονται και τα μαλακά μέρη της περιοχής άλλοτε σε μικρότερο και άλλοτε σε μεγαλύτερο βαθμό το οποίο εξαρτάται από την σοβαρότητα του κατάγματος (Solomon *et al.*, 2010).

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΤΑΓΜΑΤΩΝ

Κάταγμα, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, ονομάζεται η μερική ή ολική λύση της συνέχειας ενός οστού. Για να δημιουργηθεί ένα κάταγμα απαραίτητη είναι η επίδραση αξιοσημείωτης

βίας πάνω του. Η κατηγοριοποίηση των κατάγματων μπορεί να καθοριστεί βάσει διαφορετικών παραγόντων κάθε φορά ανάλογα τον τρόπο με τον οποίο περιγράφεται το κάταγμα. Αναφορικά λοιπόν με την αιτία πρόκλησης διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες καταγμάτων:

- ***Παθολογικά κατάγματα***

Ακόμα και η άσκηση μικρού βαθμού βίας μπορεί να προκαλέσει κάταγμα στο οστό εξαιτίας ορισμένων παθολογιών που ίσως υπάρχουν.

- ***Κατάγματα κόπωσης ή εξάντλησης***

Επιπρόσθετα, κατάγματα είναι δυνατόν να προκύψουν από μια μικρής έντασης βία όταν δρουν επαναλαμβανόμενα πάνω σε ένα υγιές οστό και η οποία αν επιβαλλόταν μία φορά δεν προκαλεί λύση της συνέχειας του οστού. Αυτά τα κατάγματα ονομάζονται *κατάγματα κόπωσης* (Kiuru *et al.*, 2004; Κορρές *et al.*, 2010). Ένα κάταγμα κόπωσης είναι μια εστιακή αποτυχία ενός υγιούς οστού, που προκαλείται από επαναλαμβανόμενη εφαρμοζόμενη καταπόνηση. Τα κατάγματα κόπωσης εμφανίζονται συνήθως όταν το άτομο εκτελεί μεγάλης έντασης δραστηριότητες. Άλλοι όροι που περιγράφουν αυτόν τον τραυματισμό των οστών περιλαμβάνουν ρωγμώδες κάταγμα, ψευδοκάταγμα και αυτόματο κάταγμα (Kiuru *et al.*, 2004).

- Αναφορικά με τη δύναμη που ασκείται και προκαλείται κάταγμα, μπορούμε να διακρίνουμε τα *άμεσα κατάγματα*, όπου το κάταγμα ταυτίζεται με το σημείο στο οποίο έδρασε η δύναμη, και τα *έμμεσα κατάγματα*, στα οποία η καταγματική περιοχή είναι διαφορετική από αυτή της δύναμης (Κορρές *et al.*, 2010)

Εξ' ορισμού το κάταγμα αναφέρεται στη λύση της συνέχειας του οστίτη ιστού, επομένως βάσει αυτού παρατηρούμε τα:

- ***Πλήρη κατάγματα:*** όταν υπάρχει πλήρης διάσπαση του οστού σε ένα ή περισσότερα τεμάχια
- ***Ατελή κατάγματα:*** όταν δεν έχει διακοπεί πλήρως η συνέχεια του οστού αλλά έχει υποστεί ενός βαθμού γωνίωση ή ρωγμή. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αυτό τον τύπο καταγμάτων το περίοστεο δεν επηρεάζεται (Solomon *et al.*, 2010)

Η κλινική εικόνα πολλές φορές συμβάλλει στην κατηγοριοποίηση των καταγμάτων αυτών. Ένα πλήρες κάταγμα, σε αρκετές περιπτώσεις, τραυματίζει τόσο τα μαλακά μέρη της γύρω περιοχής όσο και το δέρμα που τα επικαλύπτει. Τα κατάγματα λοιπόν που επιτρέπουν την επικοινωνία του εξωτερικού περιβάλλοντος, μέσω της λύσης της συνέχειας του δέρματος, με

την περιοχή της κάκωσης ονομάζονται **ανοικτά**. Αντίθετα, όταν δεν υπάρχει διακοπή της συνέχειας του δέρματος τα κατάγματα καλούνται **κλειστά**.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ανάγκη διάκρισης των καταγμάτων με βάση τη φορά της καταγματικής γραμμής, η οποία υποδηλώνει και τον μηχανισμό κάκωσης. Γι' αυτό το λόγο διακρίνουμε τα:

- **Εγκάρσια**, όταν η καταγματική γραμμή διατρέχει κάθετα τον άξονα του οστού (κυρίως σε μακρά οστά)
- **Λοξά ή σπειροειδή**, όταν τα κατεαγόντα τεμάχια διαχωρίζονται με βάση μια πλάγια γραμμή

Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση αποτελούν τα:

- **Συμπιεστικά**: συμβαίνουν σε σπογγώδη οστά και παρατηρείται σύνθλιψη και καθίζηση των οστεοδοκίδων (π.χ. σπονδυλική στήλη)
- **Ενσφηνωμένα**: παρατηρούνται όταν το άκρο του ενός οστού σφηνώνεται μέσα στο άκρο του άλλου. Είναι πιθανό να μην μπορέσουν να διαγνωσθούν αφού διατηρούν τη λειτουργικότητά τους και η πόρωση γίνεται γρήγορα
- **Αποσπαστικά**: ονομάζονται τα κατάγματα που συμβαίνουν στα σημεία πρόσφυσης των μυών, τενόντων και συνδέσμων

Ακόμα υπάρχουν τα:

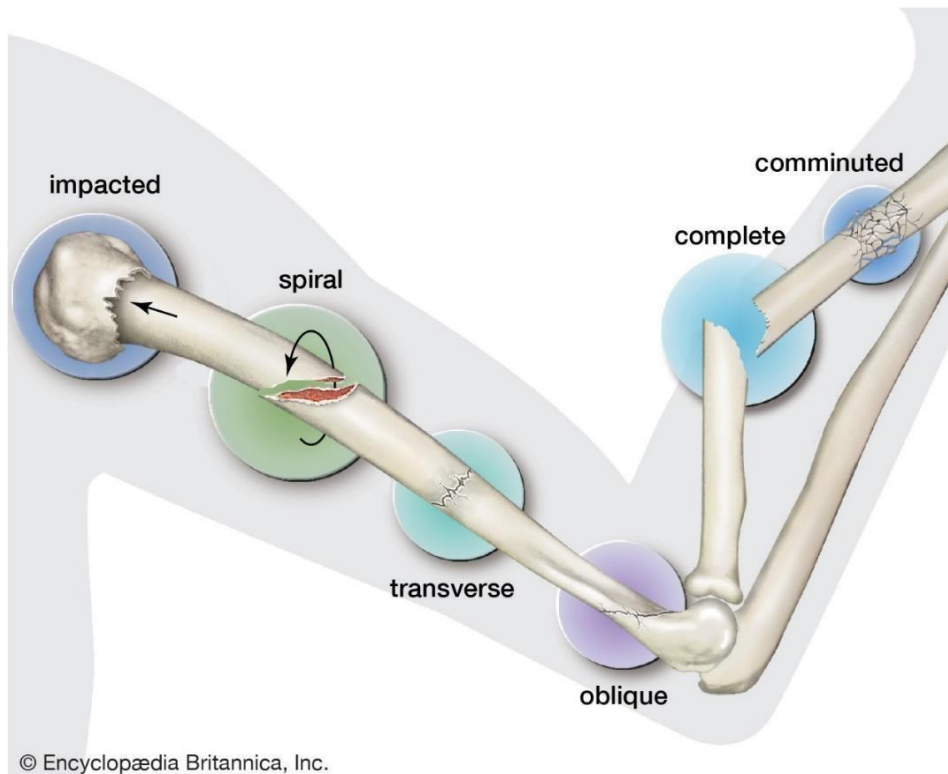
- **Συντριπτικά**: καλούνται έτσι εκείνα όπου το οστό διαιρείται σε περισσότερα από τρία τεμάχια
- **Διπολικά**: είναι εκείνα τα οποία παρουσιάζουν στο ίδιο οστό δυο διαφορετικές λύσεις που έχουν απόσταση μεταξύ τους

Αναφορικά με τη θέση τους στο οστό διαχωρίζονται σε :

- **Επιφύσεως**
- **Διαφύσεως**
- **Ενδοαρθρικά**, όταν τα κατάγματα των επιφύσεων εκτείνονται έως την άρθρωση

Τέλος, αλλά εξίσου σημαντική κατηγοριοποίηση αποτελεί η διάκριση των σταθερών από τα ασταθή κατάγματα:

- **Σταθερά:** σε αυτά τα κατάγματα η ακινητοποίηση πραγματοποιείται με ευκολία, η αιματική ροή των άκρων δεν διακόπτεται και τα μαλακά μέρια της περιοχής δεν έχουν υποστεί βλάβες. Επομένως η πώρωσή τους διενεργείται πιο άμεσα
- **Ασταθή:** αντίθετα τα κατάγματα αυτά παρουσιάζουν δυσκολία στην ακινητοποίηση λόγω της βλάβης των μαλακών μορίων της περιοχής γύρω από την κάκωση το οποίο συνεπάγεται την μη πλήρη αιμάτωση των καταγματικών επιφανειών με συνακόλουθο την καθυστέρηση της πώρωσης (Κορρές *et al.*, 2010)



Εικόνα 2: Κάταγμα <https://www.britannica.com/science/fracture-of-bone>

2.3 ΚΛΙΝΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ - ΔΙΑΓΝΩΣΗ

Η κλινική εξέταση των καταγμάτων στηρίζεται στην αξιολόγηση των αντικειμενικών ευρημάτων που υποδηλώνουν την ύπαρξή του. Ανάμεσα σε αυτά είναι:

- Το οίδημα
- Η τοπική ευαισθησία
- Η εκχύμωση
- Ο πόνος
- Η παράδοξη κινητικότητα
- Η παραμόρφωση και
- Ο κριγμός (Solomon *et al.*, 2010)

Για να είναι όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη η αξιολόγηση των ακτινολογικών απεικονίσεων συνιστάται να ακολουθείται ο κανόνας των δύο. Η ετερόπλευρη ακτινογραφία είναι σύνηθες να πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της αρχικής παραμονής του ασθενούς στο νοσοκομείο, διότι η παρουσία ετερόπλευρου τραυματισμού μπορεί να μεταβάλει πιθανή χειρουργική θεραπεία (Marshall *et al.*, 2018).

Πιο αναλυτικά ο κανόνας των δύο παρουσιάζεται ως:

- Δύο λήψεις: είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν τουλάχιστον δύο λήψεις για να γίνει αντιληπτό ένα κάταγμα
- Δύο αρθρώσεις: αναφέρεται στις αρθρώσεις που βρίσκονται ακριβώς πάνω και κάτω από την περιοχή της κάκωσης
- Δύο άκρα: η απεικόνιση του υγιούς μέλους χρησιμοποιείται συνήθως συγκριτικά
- Δύο συνεδρίες: πολλές φορές τα κατάγματα είναι δύσκολο να ανιχνευτούν από την πρώτη συνεδρία και είναι απαραίτητος ένας δεύτερος ακτινολογικός έλεγχος έπειτα από δύο εβδομάδες όπως συμβαίνει στα अपαρεκτόπιστα κατάγματα του περιφερικού άκρου (Solomon *et al.*, 2010)

Εάν δεν εντοπιστεί κάταγμα, οι συστάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν στενή κλινική και ακτινογραφική παρακολούθηση, άμεση σάρωση οστού ή μαγνητική τομογραφία.

Η αξονική και η μαγνητική τομογραφία αποτελούν βοήθημα στην ανάδειξη δύσκολων καταγμάτων στην περιοχή της σπονδυλικής στήλης ή της πτέρνας. Το σπινθηρογράφημα ωστόσο βοηθά στη διάγνωση καταγμάτων κόπωσης ή άλλων μη διαγνωσμένων καταγμάτων (Solomon *et al.*, 2010).

ΑΠΛΗ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΑ

Η ακτινογραφία έχει χρησιμοποιηθεί ως το κύριο εργαλείο απεικόνισης, αλλά λόγω της χαμηλής ευαισθησίας της στα αρχικά στάδια των τραυματισμών των οστών η διάγνωση έχει συχνά βασιστεί σε σπινθηρογράφημα οστών (Kiuru *et al.*, 2004). Η ποσοτική αξονική τομογραφία (CT) σαρώνει το δοκιδωτό οστό σε διάφορες θέσεις, αλλά συνηθέστερα χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της σπονδυλικής στήλης (Lane *et al.*, 2000).

ΣΠΙΝΘΗΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

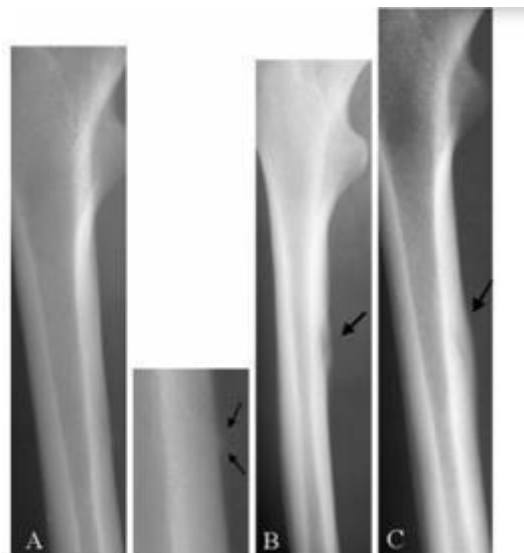
Για την έγκαιρη ανίχνευση των τραυματισμών από το στρες των οστών, το σπινθηρογράφημα είναι ένας σημαντικός τρόπος απεικόνισης. Το σπινθηρογράφημα των οστών είναι πιο ευαίσθητο από τη ραδιογραφία και χρησιμοποιείται όταν οι ακτινογραφίες είναι φυσιολογικές,

αλλά τα συμπτώματα και τα κλινικά ευρήματα υποδηλώνουν τραυματισμό οστικού στρες. Αν και το σπινθηρογράφημα θεωρείται σημαντικό εργαλείο ανίχνευσης καταγμάτων, έχουν αναφερθεί ψευδώς αρνητικά σπινθηρογραφήματα οστών (Kiuru *et al.*, 2004).

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI) έχει γίνει ένας αποδεκτός τρόπος απεικόνισης στη διάγνωση παθολογικών διεργασιών του μυοσκελετικού συστήματος, λόγω της υπεροχής του έναντι των κινδύνων που ενέχουν οι ακτίνες X για τον οργανισμό. Η μαγνητική τομογραφία έχει υψηλότερη ευαισθησία από ό,τι η ακτινογραφία στην αξιολόγηση των πρώιμων καταγμάτων καταπόνησης. Η ευαισθησία για κατάγματα καταπόνησης με ακτινογραφία έχει αναφερθεί ως 15% -35% για τραυματισμούς σε πρώιμο στάδιο και 30% -70% για τραυματισμούς σε μεταγενέστερο στάδιο. Η μαγνητική τομογραφία, από την άλλη πλευρά, θεωρείται ότι έχει σχεδόν 100% ευαισθησία. Είναι η πλέον κατάλληλη για διάκριση μεταξύ καλοηθών και κακοήθων καταγμάτων λόγω της ικανότητάς της να χαρακτηρίζει ανωμαλίες έντασης σήματος μυελού.

Εάν η οριστική διάγνωση παραμένει αβέβαιη μετά την αρχική απεικόνιση, οι διαγνωστικές επιλογές περιλαμβάνουν άμεση βιοψία ή βραχυχρόνια ακτινογραφία παρακολούθησης και μαγνητική τομογραφία. Σε καλοήθη κατάγματα, η απεικόνιση παρακολούθησης μικρού διαστήματος συνήθως επιδεικνύει σημάδια επούλωσης και βελτίωσης της ανωμαλίας έντασης του σήματος του μυελού κατά τους 2-3 πρώτους μήνες (Marshall *et al.*, 2018).



Εικόνα 3: Απεικόνιση Μαγνητικού συντονισμού (Kiuru *et al.*, 2004)

Η διαγνωστική αξία του υπερήχου είναι περιορισμένη για τον προσδιορισμό κατάγματος. Περιστασιακά, μπορούμε να απεικονίσουμε, κυρίως στα μετατόρσια και στον άκρο πόδα περιostικό και μυϊκό οίδημα και φλοιώδη γραμμή κατάγματος (Kiuru *et al.*, 2004).

Ευρήματα Απεικόνισης

Τα χαρακτηριστικά απεικόνισης των καταγμάτων καταπόνησης προσδιορίζονται κυρίως σύμφωνα με δύο παράγοντες:

1. τη σχετική αναλογία φλοιώδους προς δοκιδωτό οστό και
2. τη χρονικότητα του τραυματισμού

Τα μετατοπισμένα ή πλήρη κατάγματα πρέπει να αντιμετωπίζονται χειρουργικά. Όταν ενδείκνυται χειρουργική επέμβαση, ο ενδομυελικός ήλος είναι η προτιμώμενη θεραπεία και στην πραγματικότητα θεωρείται από ορισμένους ότι είναι το πρότυπο φροντίδας για όλα τα εγκάρσια ή λοξά προσανατολισμένα ελάχιστα θρυμματισμένα κατάγματα της διάφυσης μακρού οστού κάτω άκρου, ανεξάρτητα από την αιτία (Marshall *et al.*, 2018).

2.4 ΘΕΡΑΠΕΙΑ

Πρωταρχικός στόχος της θεραπείας του κατάγματος αποτελεί η πόρωση. Η πόρωση πραγματοποιείται με τη διαδικασία της όσο το δυνατόν βέλτιστης ανάταξης η οποία συγκρατεί τις επιφάνειες του κατάγματος σε θέση λειτουργική για το οστό. Ειδικά για τις περιπτώσεις ενδοαρθρικών καταγμάτων η ανάταξη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ανατομική, διαφορετικά δημιουργούνται προϋποθέσεις μετατραυματικής αρθρίτιδας.

Όσον αφορά την ακινητοποίηση και την ανάταξη του κατάγματος, αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

- Κλειστή ανάταξη με ειδικούς χειρισμούς και συγκράτηση του κατάγματος με νάρθηκες και γύψινους επιδέσμους
- Συνεχή σκελετική ή δερματική έλξη
- Εσωτερική οστεοσύνθεση
- Εξωτερική οστεοσύνθεση

Ανάλογα το είδος του κατάγματος επιλέγεται και η καταλληλότερη μέθοδος.

Τα περισσότερα κατάγματα αντιμετωπίζονται συνήθως συντηρητικά. Σε περιπτώσεις όμως ενδοαρθρικών καταγμάτων, ασταθών και κυρίως ανοικτών καταγμάτων είναι επιτακτική η ανάγκη χειρουργικής επέμβασης. Σε μερικές περιπτώσεις η χειρουργική θεραπεία αποτελεί μονόδρομο ώστε να επιτευχθεί η πόρωση. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανοικτή ανάταξη καθώς επίσης την εσωτερική και εξωτερική οστεοσύνθεση. Παρόλο που αποτελεί την μοναδική λύση σε ορισμένες περιστάσεις, παρουσιάζει μειονεκτήματα η εφαρμογή της. Πιο αναλυτικά, είναι πιθανό να αποκολληθούν και να τραυματιστούν μαλακά μόρια και τμήματα του οστού ακόμα και να προκύψει κάποιου είδους λοίμωξη παρά το γεγονός πως τηρούνται όλα τα μέτρα αποστείρωσης και ασηψίας. Ακολουθως λοιπόν διαταράσσεται επιπλέον η αγγείωση και πιθανόν να δημιουργηθούν περαιτέρω επιπλοκές οδηγώντας σε χρόνια οστεομυελίτιδα ή σηπτική ψευδάρθρωση.

Η εξωτερική οστεοσύνθεση δεν προκαλεί μεγάλες βλάβες ούτε στα μαλακά μόρια ούτε στο δέρμα και η περιποίηση του τραύματος πραγματοποιείται ευκολότερα. Επιπλέον, παρέχει ικανοποιητική συγκράτηση του κατάγματος και ταυτόχρονα επιτρέπει την κινητοποίηση των γειτονικών αρθρώσεων.

Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, για να βελτιστοποιηθεί η λειτουργική αποκατάσταση κρίνεται αναγκαία η συμβολή της κατάλληλης φυσικοθεραπείας αμέσως μετά την ανάταξη και την ακινητοποίηση. Έτσι, διατηρείται ο μυϊκός τόνος και ενισχύεται η τροφικότητα των μυών που περιβάλλουν το κάταγμα επιδιώκοντας την αποκατάσταση των γύρω αρθρώσεων (Κορρές *et al.*, 2010).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συντηρητική θεραπεία είναι επαρκής. Σε πιο σοβαρές καταστάσεις, διαφορετικά είδη από νάρθηκες καθώς και βακτηρίες μπορεί να είναι απαραίτητα είτε μετεγχειρητικά είτε σε καταστάσεις συντηρητικής θεραπείας. Το μήκος της ανάπαυσης εξαρτάται από το οστό που επηρεάζεται και τη σοβαρότητα του τραυματισμού. Σε κάθε περίπτωση, η επιστροφή στη συνήθη σωματική δραστηριότητα πρέπει να είναι σταδιακή (Κιουρι *et al.*, 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΠΟΥΛΩΣΗ ΟΣΤΩΝ

Πώρωση των καταγμάτων ονομάζεται η βιολογική διαδικασία της επούλωσης ενός οστού, η οποία ενεργοποιείται έτσι ώστε να αποκατασταθεί όσο το δυνατόν καλύτερα τόσο η οστική συνέχεια όσο και η λειτουργικότητα του οστού που έχει υποστεί την βλάβη (Κορρές *et al.*, 2010). Η επούλωση των οστών συνεπάγεται την δημιουργία αυτούσιου οστίτη ιστού σε αντίθεση με τις υπόλοιπες επουλωτικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στον οργανισμό. Η οστεογένεση έπειτα από την δημιουργία κατάγματος χωρίζεται σε **εγχόνδρινη, περιοριστική, ενδοαυλική** και **φλοιώδης**. Για να γίνουν πιο κατανοητές οι έννοιες αυτές αξίζει να αναφερθεί η δράση τους.

- **Εγχόνδρινη οστεογένεση:** αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο δημιουργίας οστίτη ιστού και χωρίζεται στις εξής 5 φάσεις:
 1. **Άμεση καταγματική φάση**(λίγες ώρες μετά το κάταγμα) ή **Ιστική καταστροφή και σχηματισμός αιματώματος** (Solomon *et al.*, 2010): η τοπική ισχαιμία της περιοχής που προκαλείται από την διακοπή αιμάτωσης συμβάλλει στην αντίδραση της οξείας φάσης που ακολουθεί, ενώ από το αιμάτωμα που δημιουργείται ειδικοί κυτταρικοί διαβιβαστές ελέγχουν την πωρωτική διαδικασία (Childs, 2003; Κορρές *et al.*, 2010)
 2. **Φάση της φλεγμονώδους αντίδρασης** (ημέρες μετά το κάταγμα): σε αυτή τη φάση σχηματίζεται αγγειακό δίκτυο με τη μορφή νέων λεπτών τριχοειδών (Solomon *et al.*, 2010), που μετατρέπονται στο κοκκίωμα, και μέσω του αιματώματος μεταφέρονται ανώριμα μεσεγχυματικά κύτταρα που μετατρέπονται σε χονδροβλάστες (Κορρές *et al.*, 2010)
 3. **Φάση σχηματισμού χόνδρου** (εβδομάδες μετά το κάταγμα) ή **Σχηματισμός πώρου** (Solomon *et al.*, 2010): οι εξελιγμένοι πλέον χονδροβλάστες αναπτύσσουν τον χόνδρινο πώρο επιτρέποντας πλέον την άσκηση μικρού ποσού φορτίων εφόσον η καταγματική εστία παρέχει κάποιου βαθμού σταθερότητα (Κορρές *et al.*, 2010). Οι οστεοκλάστες που αποτελούν τον κυτταρικό πληθυσμό σε αυτή τη φάση απορροφούν το νεκρό οστό (Solomon *et al.*, 2010)

4. **Φάση μετάλλωσης ή οστεοποίησης ή στερεοποίησης** (Solomon *et al.*, 2010): στη διάρκεια αυτής της φάσης πραγματοποιείται μια διαρκής οστεοβλαστική και οστεοκλαστική δραστηριότητα ενώ ταυτόχρονα άλατα υδροξυαπατίτη εγκαθίστανται στον χόνδρινο πόρο και τον επιμεταλλώνουν αναπτύσσοντας τον άωρο οστίτη ιστό (Korρές *et al.*, 2010)
 5. **Φάση οστικής ανακατασκευής**: το άωρο οστό πλέον μετατρέπεται σε πεταλειώδες οστό που έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τον υγιή οστίτη ιστό
- **Περιοστική οστεογένεση**: όπως αναφέρει και το όνομά της, οστεοβλαστικά κύτταρα του περιόστεου συνεισφέρουν στο σχηματισμό του οστού (Childs, 2003). Η διαδικασία αυτή είναι λιγότερο αποδοτική σε σχέση με την εγχόνδρινη αλλά εξίσου σημαντική (Korρές *et al.*, 2010)
 - **Ενδοαυλική οστεογένεση**: μεσεγχυματικά κύτταρα του μυελού των οστών είναι υπεύθυνα για αυτόν τον τρόπο οστεογένεσης (Korρές *et al.*, 2010)
 - **Φλοιώδης οστεογένεση**: συμβαίνει συνήθως έπειτα από οστεοσύνθεση. Προϋπόθεση πραγματοποίησης μιας τέτοιας διαδικασίας αποτελεί η πλήρης ακινησία και η απόλυτη επαφή των καταγματικών επιφανειών που υλοποιείται μέσω της ανατομικής ανάταξης του κατάγματος (Korρές *et al.*, 2010). Σε διάστημα 3 έως 5 μηνών είναι αναγκαίο να έχουν ολοκληρωθεί οι τέσσερις βασικές φάσεις της εγχόνδρινης οστεογένεσης έτσι ώστε το οστό να είναι ικανό να αντιστέκεται σε φορτία ενώ παράλληλα να εξελίσσεται η τελευταία φάση (Korρές *et al.*, 2010)

Σε γενικότερο πλαίσιο, η επούλωση κατάγματος θεωρείται πετυχημένη εάν ολοκληρωθεί μετά από 3 μήνες, καθυστερημένη εάν υπερβαίνει τους 3 μήνες και ψευδάρθρωση εάν η επούλωση δεν επιτευχθεί σε διάστημα 9 μηνών. Ως αποτέλεσμα της βιολογικής πολυπλοκότητας της επιδιόρθωσης των οστών, είναι συχνά δύσκολο να καθοριστούν οι λόγοι για τους οποίους απέτυχε η διαδικασία της επούλωσης (Marsell & Einhorn, 2010).

Η αναδιαμόρφωση των οστών είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη ενέργεια με την οποία το παλιό οστό αντικαθίσταται από νέο οστό, σε έναν κύκλο που αποτελείται από τρεις φάσεις:

- Έναρξη οστικής απορρόφησης από οστεοκλάστες
- Μετάβαση από την απορρόφηση στο νέο σχηματισμό οστού

- ο Σχηματισμός οστού από οστεοβλάστες

Αυτή η διαδικασία συμβαίνει λόγω συντονισμένων ενεργειών των οστεοκλαστών, των οστεοβλαστών, των οστεοκυττάρων και των κυττάρων επένδυσης οστών που μαζί αποτελούν την προσωρινή ανατομική δομή που ονομάζεται βασική πολυκυτταρική μονάδα (BMU= basic multicellular unit) (Seeman & Delmas, 2006; Florencio-Silva *et al.*, 2015).

Η πλήρης οδός αναδιαμόρφωσης των οστών μπορεί να διαρκέσει 2-8 μήνες και περιλαμβάνει τρία διακριτά βήματα:

- (α) δημιουργία μικροσυστοιχιών λόγω της αρχικής πλαστικής παραμόρφωσης
- (β) σχηματισμός κοιλότητας επαναρρόφησης από οστεοκλάστες στη θέση της μικροσυστοιχίας
- (γ) δράση οστεοβλαστών με νέα εναπόθεση οστού στις κοιλότητες επαναρρόφησης

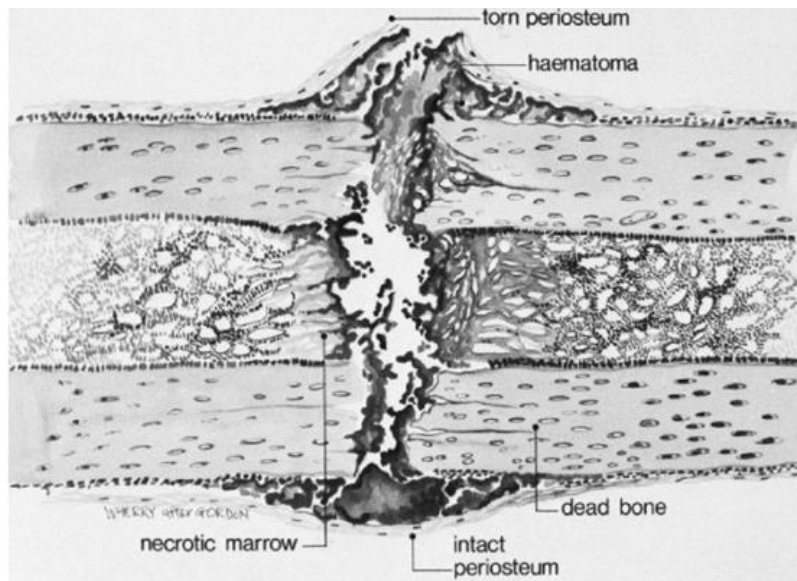
Η διεργασία της αναδιαμόρφωσης είναι παρόμοια σε όλο τον σκελετό. Ωστόσο, υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ του φλοιώδους και του δοκιδωτού οστού. Μόνο η φλοιώδης αναδιαμόρφωση σχετίζεται με φλεγμονή του παρακείμενου περιόστεου. Η αναδιαμόρφωση του δοκιδωτού οστού, από την άλλη πλευρά, συνδέεται με τον αναπροσανατολισμό των δοκίδων για να αντέχουν καλύτερα τις εφαρμοζόμενες δυνάμεις (Marshall *et al.*, 2018).

Οι κυτταρικοί μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την προσάρτηση του οστού είναι η μοντελοποίηση ή κατασκευή και η αναδιαμόρφωση ή ανακατασκευή. Η μοντελοποίηση των οστών προκαλεί μια αλλαγή στο μέγεθος και το σχήμα του οστού όταν το νέο οστό εναποτίθεται χωρίς προηγούμενη επαναρρόφηση των οστών. Κατά τη διάρκεια της αναδιαμόρφωσης των οστών, η απορρόφηση από τους οστεοκλάστες προηγείται του σχηματισμού οστού από τους οστεοβλάστες (Seeman & Delmas, 2006).

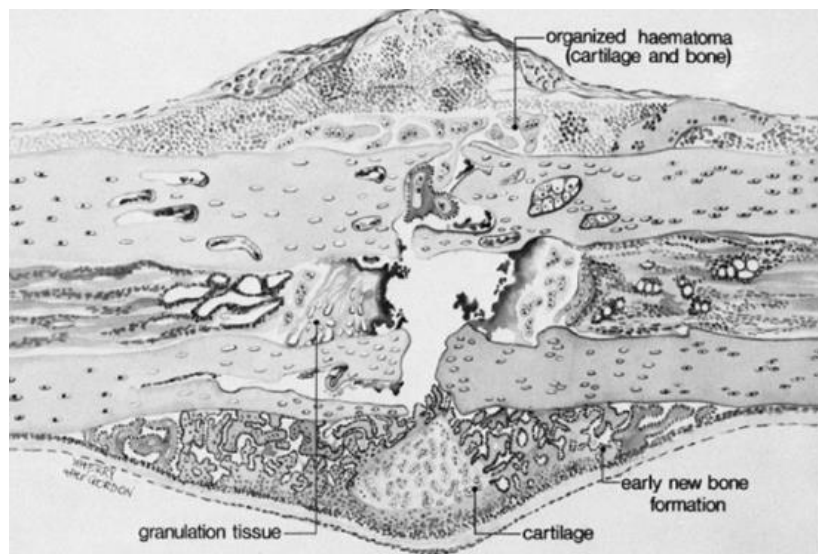
Η αρχική φάση της επούλωσης των οστών χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση φλεγμονής. Τα MSCs (Mesenchymal stem cells) και τα ενδοθηλιακά κύτταρα μεταναστεύουν προς την περιοχή των θραυσμένων οστών. Τα οστεοπρογονικά κύτταρα, που προέρχονται από το περιόστεο, τον μυελό των οστών και τον περιβάλλοντα ιστό, αντιδρούν στα σήματα που αποστέλλονται από το αιμάτωμα και μεταναστεύουν στην περιοχή κατάγματος (Rupp *et al.*, 2017). Η φυσιολογική επούλωση των οστών ακολουθεί μια προβλέψιμη ακολουθία γεγονότων. Ο βαθμός κίνησης που υπάρχει στη θέση υπαγορεύει εάν η επούλωση συμβαίνει μέσω πρωτογενούς-άμεσης ή δευτερογενούς-έμμεσης επούλωσης. Η πρωτογενής επούλωση συμβαίνει στις επιφάνειες του κατάγματος όπου υπάρχουν μικρά κενά ή όταν οι επιφάνειες

βρίσκονται σε άμεση επαφή και χαρακτηρίζεται από την απουσία πόρου. Η πρωτογενής επούλωση δεν είναι ταχύτερη από τη δευτερογενή επούλωση. Εντούτοις, η δευτερογενής επούλωση είναι πιο συχνή λόγω της κινητικότητας που υπάρχει στο σημείο θραύσης του κατάγματος με αποτέλεσμα να στερείται σταθερότητας. Σε αυτόν τον τύπο πάρωσης στη διαδικασία συμμετέχουν το περίοστεο και οι γύρω μαλακοί ιστοί ενώ πρωταγωνιστικό ρόλο παίζει το περίοστεο στο οποίο διενεργείται η σημαντικότερη διεργασία επούλωσης που καταλήγει τελικά στο σχηματισμό πόρου (Childs, 2003; Doyle, 2004; Marsell & Einhorn, 2010).

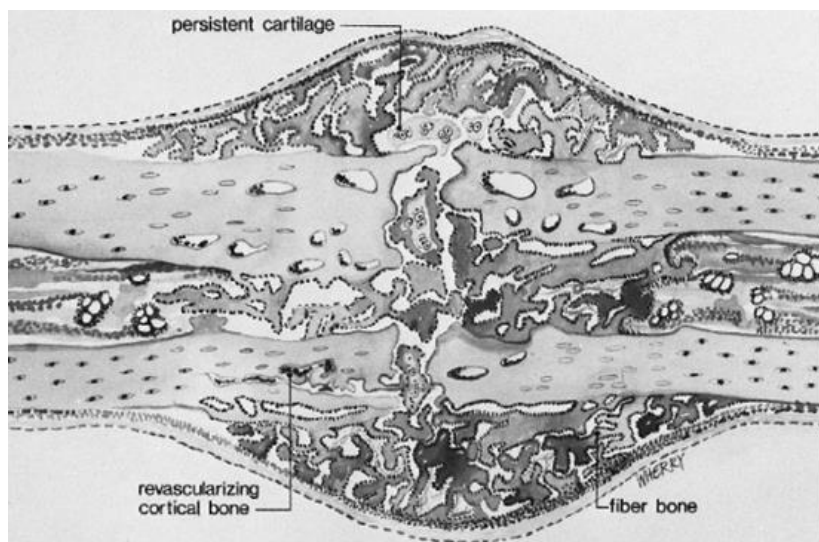
Ο κύκλος αναδιαμόρφωσης των οστών αρχίζει με μια αρχική φάση, η οποία αποτελείται από οστική απορρόφηση από οστεοκλάστες, ακολουθούμενη από μια φάση σχηματισμού οστού από οστεοβλάστες. Ο κύκλος ολοκληρώνεται με συντονισμένες δράσεις οστεοκυττάρων και κυττάρων οστικής επένδυσης. Στη φάση έναρξης, υπό τη δράση οστεοκλαστογόνων τα αιμοποιητικά βλαστοκύτταρα προσλαμβάνονται σε συγκεκριμένες περιοχές οστικής επιφάνειας και διαφοροποιούνται σε ώριμους οστεοκλάστες που ξεκινούν οστική απορρόφηση (Florencio-Silva *et al.*, 2015). Η τελική φάση της επούλωσης, η ανακατασκευή, είναι μια μακρά διαδικασία που συνεχίζεται για μήνες έως χρόνια. Η μικροκίνηση είναι επίσης απαραίτητη επιταχύνοντας έτσι την επιστροφή της αντοχής και της ακαμψίας. Η κατάλληλη μηχανική φόρτιση εξασφαλίζει την επιτυχή αναδιαμόρφωση για να επιστρέψει το οστό πίσω στην αρχική μηχανική αντοχή του σύμφωνα με το νόμο του Wolff (Childs, 2003; Doyle, 2004; Seeman & Delmas, 2006). Το σύνολο των διεργασιών περιλαμβάνει μια οξεία φλεγμονώδη απόκριση, μεσεγγυματική στρατολόγηση βλαστικών κυττάρων, κυτταρική διαφορά και νεοαγγειογένεση, που μαζί επιδιορθώνουν το οστό είτε με ενδοχονδρικό είτε ενδομεμβρανώδες σχηματισμό οστού και αναδιαμόρφωση (Marsell & Einhorn, 2010). Η επούλωση των οστών είναι μια μεταβολική διαδικασία που ενσωματώνει διάφορες φυσιολογικές ιδιότητες που είτε βοηθούν την αποκατάσταση των οστών είτε επιβραδύνουν την επανορθωτική διαδικασία. Το οστό ανταποκρίνεται σε εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα που μπορεί να μεταβάλουν την θεραπευτική του ικανότητα.



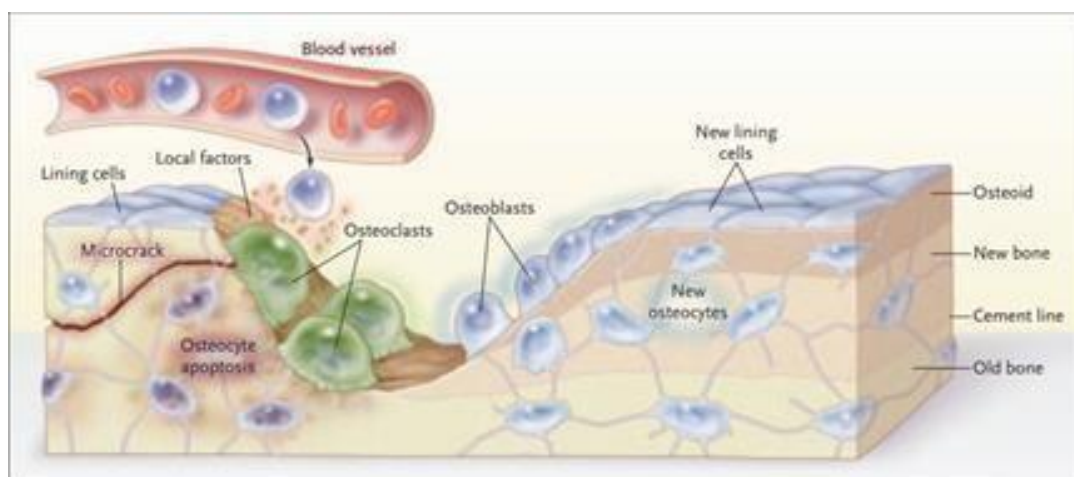
Εικόνα 4: Τα αρχικά συμβάντα που εμπλέκονται στην επούλωση κατάγματος του μακρού οστού. Το περίοστεο είναι σχισμένο απέναντι από το σημείο πρόσκρουσης και σε πολλές περιπτώσεις, είναι άθικτο στην άλλη πλευρά. Υπάρχει συσσώρευση αιματώματος κάτω από το περίοστεο και μεταξύ των άκρων του κατάγματος. Υπάρχει νεκρωτικός μυελός και νεκρό οστό κοντά στη γραμμή κατάγματος (Childs, 2003)



Εικόνα 5: Πρόωρη επισκευή. Υπάρχει οργάνωση του αιματώματος, πρόιμος πρωτογενής νέος σχηματισμός οστού και σχηματισμός χόνδρου σε άλλες περιοχές (Childs, 2003)



Εικόνα 6: Σε μεταγενέστερο στάδιο της επισκευής, το πρώιμο ανώριμο οστό ινών γεφυρώνει το κενό θραύσης. Ο επίμονος χόνδρος παρατηρείται σε σημεία πιο απομακρυσμένα από τα τριχοειδή. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτά περιβάλλονται από καινούργιο νέο οστό (Childs, 2003)



Εικόνα 7: Επούλωση οστών - Μια μικροσυστοιχία διακόπτει τα κανάλια, τα οποία προκαλούν απόπτωση οστεοκυττάρων, με τη θέση και την έκταση της βλάβης που ορίζονται από τα σήματα στα κύτταρα επένδυσης. Τα κύτταρα επένδυσης και τα οστεοκύτταρα απελευθερώνουν τοπικούς παράγοντες που προσελκύουν κύτταρα από το αίμα και το μυελό στο διαμέρισμα αναδιαμόρφωσης που η οστεοκλαστογένεση συμβαίνει. Οι οστεοκλάστες απορροφούν τη μήτρα και την μικροσυστοιχία. Στη συνέχεια διαδοχικές ομάδες οστεοβλαστών καταθέτουν νέο ελασματοειδές οστό. Οι οστεοβλάστες που παγιδεύονται στη μήτρα γίνονται οστεοκύτταρα. Άλλοι πεθαίνουν ή σχηματίζουν νέα, πεπλατυσμένα κύτταρα επένδυσης οστεοβλαστών (Seeman & Delmas, 2006)

3.2 ΕΠΙΒΑΡΥΝΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΠΩΦΕΛΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Ως αποτέλεσμα της βιολογικής πολυπλοκότητας της επιδιόρθωσης των οστών, είναι συχνά δύσκολο να προσδιοριστεί ποια γεγονότα απέτυχαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επούλωσης. Υπάρχουν αρκετοί γνωστοί παράγοντες κινδύνου για εξασθενημένη επούλωση όπως ο σακχαρώδης διαβήτης, η χρόνια φλεγμονώδης νόσος, η προχωρημένη ηλικία, η μειωμένη κυκλοφορία, το κάπνισμα, η κατάχρηση αλκοόλ, η χρήση κορτικοστεροειδών ή μη στεροειδών, αντιφλεγμονώδη φάρμακα και ορισμένα αντιπηκτικά. Επιπλέον, η σοβαρότητα του τραυματισμού, όπως η παρουσία θρυμματισμού, ανοικτών καταγμάτων, βλάβης μαλακού ιστού και τοπικής αιμάτωσης, καθώς και ανεπαρκής μείωση ή/και σταθεροποίηση προβάλλουν ελάχιστα αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, έχει μεγάλη σημασία να εξεταστεί προσεκτικά κάθε ασθενής για να εντοπιστούν σχετικές συνοσηρότητες και άλλα εξατομικευμένα ζητήματα (Marsell & Einhorn, 2010).

Μερικοί από τους παράγοντες που αναστέλλουν την οστική αναγέννηση είναι οι παρακάτω:

1,25-διυδροξυκοληκαλσιφερόλη (βιταμίνη D), βιταμίνη A, καλσιτονίνη και πεπτίδιο σχετιζόμενο με καλσιτονίνη-γονίδιο (CGRP), δυσλειτουργία παραθυρεοειδούς ορμόνης (PTH), ιντερλευκίνη (IL)-1, IL-3, IL-4, IL-6, IL-8, IL-11, λεμφοτοξίνη και παράγοντας νέκρωσης όγκου (TNF), CSF-1, ιντερφερόνη, TGF, ρετινοειδή, σειρά προσταγλανδίνης E, λευκοτριένια, ορμόνες (οιστρογόνο / τεστοστερόνη, γλυκοκορτικοειδή), παράγοντας διέγερσης αποικιών μακροφάγων (MCSF= Macrophage colony-stimulating factor), ανδρογόνα και οιστρογόνα.

Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την επούλωση των οστών είναι:

Συνοδές παθήσεις, διατροφική κατάσταση, φαρμακοθεραπεία, ρευματοειδής αρθρίτιδα και άλλες αυτοάνοσες ασθένειες, υπογοναδισμός, υποθυρεοειδισμός, παραθυρεοειδισμός, άλλες ενδοκρινικές αναταραχές, όπως και η ηλικία του ασθενούς, το φύλο, η νευροαγγειακή βλάβη σχετικά με την περιοχή της επούλωσης των οστών (Childs, 2003; Florencio-Silva *et al.*, 2015).

Τέλος, η επούλωση επηρεάζεται και από: θέση-τύπο θραύσης, εμπλοκή αρθρικών επιφανειών και πλακών ανάπτυξης, τύπο οστού (φλοιώδης έναντι σπογγώδους) και σταθερότητα της χειρουργικής επισκευής. Στη φυσική εξέταση, η φλεγμονώδης φάση χαρακτηρίζεται από θερμότητα, οίδημα και πόνο στην ψηλάφηση (Doyle, 2004).

Βιολογικές ουσίες που διεγείρουν νέο σχηματισμό οστού είναι οι οστεογονικές πρωτεΐνες-1 (OP-1) και BMP-7 που αποτελούν μέρος της οικογένειας BMP (Childs, 2003; Marsell & Einhorn, 2010). Οι BMP αποτελούν μέρος της μετασχηματιστικής ανάπτυξης μαζί με ένα άλλο υποσύνολο πρωτεϊνών που ονομάζεται ανάπτυξη και παράγοντες διαφοροποίησης (GDF). Τα GDFs είναι απαραίτητα για τον σχηματισμό αρθρώσεων και τη ρύθμιση της οστεοβλαστικής δραστηριότητας (Childs, 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στη παρούσα έρευνα παρουσιάζεται η αποτελεσματικότητα των εξής τεσσάρων θεραπειών φυσικών μέσων: θεραπεία LASER, μαγνητοθεραπεία, θεραπεία υπερήχου και ηλεκτροθεραπεία. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για τα φυσικά μέσα αυτά και την αποτελεσματικότητά τους.

4.1 LASER

Όταν γίνεται αναφορά στο όρο θεραπεία λέιζερ στη φυσικοθεραπεία, ουσιαστικά γίνεται αναφορά στο μη επεμβατικό σκέλος της τεχνολογίας LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), δηλαδή της ενίσχυσης του φωτός μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας. Το LASER είναι μια συσκευή μέσω της οποίας ενισχύεται ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα έτσι ώστε να παράγεται μία λεπτή δέσμη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με χαρακτηριστικές ιδιότητες. Οι κύριες αυτές ιδιότητες είναι οι εξής:

- Μονοχρωματικότητα
- Κατευθυντικότητα και
- Συνοχή (Watson T., 2011)

Μεταξύ άλλων, κύριοι τύποι LASER που χρησιμοποιούνται στη φυσικοθεραπεία είναι : He-Ne , GaAlAs, HILT, LLLT κλπ. Σε τυπικό επίπεδο, το LASER εισχωρεί στα μαλακά μόρια από 0.2cm έως 5cm, αναλόγως των δεδομένων ρυθμίσεων.

Τα LASER ταξινομούνται με διάφορους τρόπους . Αρχικά, ανάλογα με την ισχύ τους σε:

1. Πολύ μικρή ισχύς <0.5mW, θεραπευτικά
2. Χαμηλής ισχύος θεραπευτικά, ασφαλή για το δέρμα (να αποφεύγεται απευθείας στους οφθαλμούς)
3. Χαμηλή και μέση ισχύς 1mW-500mW, ασφαλή για το δέρμα (απαγορεύεται η απευθείας επαφή με τα μάτια, ο χειριστής υποχρεούται να φοράει γυαλιά)
4. Για χειρουργική και όχι θεραπευτική χρήση (απαγορεύεται σε οφθαλμούς και μάτια)

Στην φυσικοθεραπεία κατά κόρον χρησιμοποιούνται LASER των κατηγοριών 2 και 3. Κύριες μονάδες μέτρησής τους είναι το MilliWatt (mW), όπου αφορά την κατανάλωση ενέργειας του,

το Joule/cm^2 (J/cm^2), το οποίο αφορά την ποσότητα της ενέργειας που αυτό εκπέμπει σε ένα τετραγωνικό εκατοστό μίας επιφάνειας (τυπικές τιμές $1\text{-}30/\text{cm}^2$), και η συχνότητά του (Hertz-Hz), που επηρεάζει το μήκος κύματος.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές θεραπείας με LASER. Ενδεικτικά αναφέρεται η LLLT (Low Level LASER Therapy) και η HILT (High Intensity Laser Therapy), και οι οποίες, ανάλογα με το στόχο θεραπείας που ο επιστήμονας υγείας έχει θέσει, χρησιμοποιούνται αναλόγως.

Τέλος, ταξινομούνται επίσης σε παλμικά ή συνεχόμενα, ανάλογα εάν η εκπομπή της φωτεινής του ακτινοβολίας είναι διακοπτόμενη ανά τακτά χρονικά διαστήματα ή εάν είναι συνεχόμενη. Τα παλμικά, σε αντίθεση με τα συνεχόμενου τύπου, δεν αυξάνουν την τοπική θερμοκρασία στο σημείο το οποίο εστιάζουν (B Cotler *et al.*, 2015).



Εικόνα 8: Θεραπεία LASER <https://www.joharidigital.com/laser-therapy-for-pain/>

4.2 ΜΑΓΝΗΤΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Ένα άλλο μέσο που χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι η μαγνητοθεραπεία. Η μαγνητοθεραπεία και ηλεκτρομαγνητοθεραπεία (Magnetic and electromagnetic field therapy) είναι η θεραπεία κατά την οποία μέσω της χρήσης μαγνητών αποκαθιστά και επιδιορθώνει παθήσεις του ανθρωπίνου σώματος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου και είναι προσανατολισμένα κάθετα το ένα προς το άλλο. Στην φυσικοθεραπεία, συνήθως γίνεται με τη χρήση μαγνητών σε κυλινδρική διάταξη σε κλωβό, μέσα στον οποίο ξαπλώνει ο ασθενής.

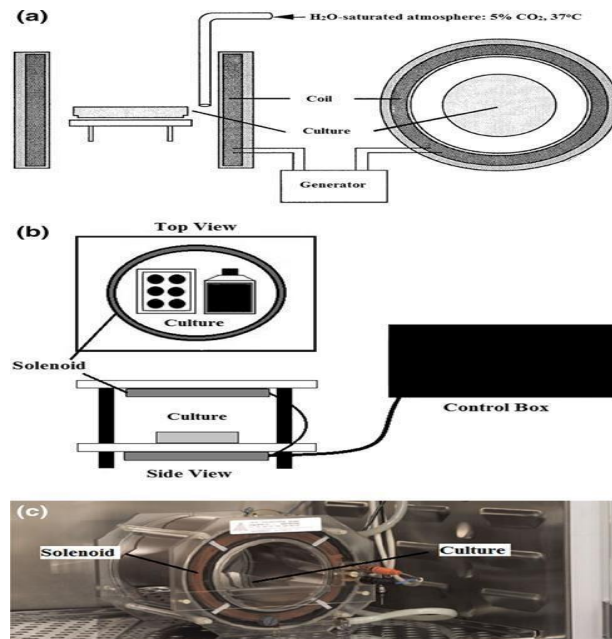
Η μαγνητοθεραπεία ταξινομείται σε 6 κατηγορίες:

1. Μόνιμα μαγνητικά πεδία (Static/permanent magnetic fields). Περιλαμβάνονται οι διάφοροι μόνιμοι μαγνήτες, όπως το μαγνητικό πεδίο της γης ή το ρεύμα μέσα από ένα καλώδιο χαμηλής τάσης

2. Χαμηλής έντασης ημιτονοειδή κύματα (Low-frequency sine wave electromagnetic fields). Στις ΗΠΑ και στον Καναδά χρησιμοποιούνται για την εκπομπή τους τα 60 Hz ενώ στην Ευρώπη και στην Ασία τα 50 Hz
3. Παλμικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία (PEMF-Pulsed Electromagnetic Fields). Τα πιο ευρέως χρησιμοποιημένα πεδία στη φυσικοθεραπεία τα οποία εμφανίζουν πάρα πολλές διαφορετικές παραλλαγές στις ρυθμίσεις τους
4. Παλμικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων (PRF-Pulsed Radiofrequency Fields) που εκπέμπουν στα 13.56, 27.12 και 40.68 MHz. με πιο συνηθισμένη ρύθμιση τα 27.12MHz
5. Διακρανιακή μαγνητική/ηλεκτρική διέγερση (Transcranial magnetic/electric stimulation) τα οποία χρησιμοποιούνται σε χειρουργεία εγκεφάλου και αποτελούνται από βραχείς αλλά έντονους μαγνητικούς παλμούς, έντασης έως 8T (Tesla)
6. Κύματα χιλιοστών (Millimeter waves) τα οποία έχουν εξαιρετικά υψηλή συχνότητα εκπομπής 30–100 GHz και τυγχάνουν χρήσης σχεδόν αποκλειστικά από πρώην χώρες της Σοβιετικής Ένωσης

Όπως και στα LASER, μπορεί να εφαρμοστεί συνεχής η παλμική εκπομπή των μαγνητικών πεδίων για εν τω βάθει αύξηση της θερμοκρασίας ή για ενεργοποίηση και αύξηση κυτταρικής δραστηριότητας μαλακών ιστών αντίστοιχα (Nanda B.K., 2018).

Μονάδα μέτρησης της έντασης των μαγνητικών πεδίων είναι το Gauss(Gs), αν και χρησιμοποιείται πλέον πιο δόκιμα σαν μονάδα μέτρησης το Tesla(T). Η ένταση των μαγνητικών πεδίων τυπικά κυμαίνεται σε 3 κατηγορίες : 5-10Gs, 150–200 Gs, 450–500 Gs (Markov & Colbert, 2000).



Εικόνα 9: Μαγνητοθεραπεία (Daish et al., 2018)

4.3 ΥΠΕΡΗΧΟΣ

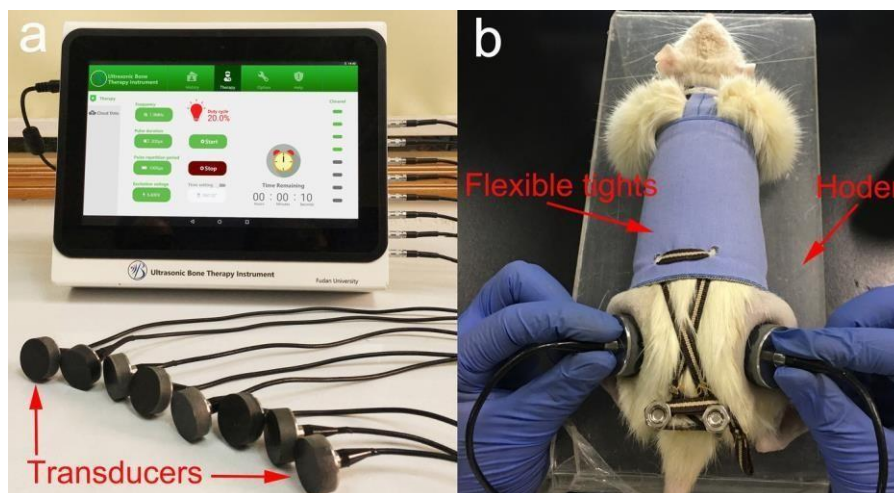
Ένα επιπλέον φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται συχνά στην επιστήμη της φυσικοθεραπείας είναι ο υπέρηχος. Θεραπευτικός υπέρηχος είναι τεχνική της φυσικοθεραπείας στην οποία η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται μέσω της βοήθειας κρυστάλλου στην κεφαλή του μηχανήματος σε ηχητικά κύματα. Η κεφαλή κινείται στην επιφάνεια του δέρματος, στο οποίο έχει προστεθεί νωρίτερα ειδικό gel, για την όσο το δυνατόν πιο τέλεια εφαρμογή, καθότι η επαφή με τον αέρα οδηγεί σε διάχυση τα ηχητικά κύματα (Watson, T., 2008).

Τυπικά, η συνεδρία ενός υπερήχου διαρκεί 3 με 5 λεπτά και με μέγιστη εφαρμογή την ίδια μέρα οι 2 φορές. Απαραίτητη είναι η κατακόρυφη εφαρμογή του υπερήχου, δηλαδή η κεφαλή του μηχανήματος να βρίσκεται πάντα όσον το δυνατόν πιο κοντά στον κάθετο άξονα με το δέρμα (γωνία 90μοιρών), ώστε να μην προκύψει το φαινόμενο της ανάκλασης και χάσει την αποτελεσματικότητά της η θεραπεία.

Οι ρυθμίσεις του μηχανήματος υπερήχων διαφέρουν ως προς τη συχνότητα εκπομπής σε ένα όριο συνήθως από 1 MHz (1.5mm μήκος κύματος) έως 3 MHz (0.5 mm μήκος κύματος). Τα πρώτα διεισδύουν πιο βαθιά στα μαλακά μόρια 4 έως 5 εκατοστά, ενώ τα δεύτερα έως 2 εκατοστά. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα παλμικής ή συνεχούς εκπομπής, είτε για σπηλαιώση (CAVITATION) είτε για θερμικά αποτελέσματα.

Η ένταση του υπερήχου ποικίλει και μπορεί να είναι από 0.1-1.0 Watt/cm²(W/cm²). Οι τωρινές οδηγίες βέβαια για πάρωση καταγμάτων ανέρχονται σε χαμηλότερες τιμές από το θεσμοθετημένο εύρος, ακόμη και σε 0.03W/cm² (Khanna *et al.*, 2009).

Σημαντικό για την θεραπεία με υπέρηχο είναι το γεγονός ότι τα μέρη του ανθρώπινου σώματος με υψηλή πρωτεϊνική συγκέντρωση (π.χ. οστά, τένοντες) απορροφούν πολύ περισσότερο τα κύματα του υπερήχου σε σχέση με τα μέρη πλούσια σε συγκέντρωση υδάτινου στοιχείου (π.χ. αίμα ,λίπος) (Johns, 2002). Σημαντικό κεφάλαιο στην θεραπεία με υπέρηχους είναι ο παλμικός υπέρηχος χαμηλής έντασης ή Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS). Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται γενικά παλμοί συχνότητας 1,5 MHz, με πλάτος παλμού 200 μs, στα 1 kHz, με χωρική μέση και χρονική μέση ένταση 30 mW/cm². Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται στην πάρωση καταγμάτων, αν και υπάρχουν πολλές διαφορούμενες μελέτες για την αποτελεσματικότητά του, καθότι δεν έχει επακριβώς προσδιοριστεί ο μηχανισμός δράσης του στο συγκεκριμένο ζήτημα (Warden *et al.*, 1999).



Εικόνα 10: Υπέρηχος (Sun *et al.*, 2019)

4.4 ΗΛΕΚΤΡΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Τέλος, η ηλεκτροθεραπεία είναι ένας κλάδος της φυσικοθεραπείας στον οποίον χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά ρεύματα για θεραπευτικούς σκοπούς. Χρησιμοποιείται ευρέως για την μείωση του πόνου σε επώδυνες περιοχές αλλά και στην αύξηση του κυτταρικού μεταβολισμού. Μια τυπική εφαρμογή φυσικοθεραπείας περιλαμβάνει 2 η 4 ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο σώμα του ασθενή, 2 ανοδικά και 2 καθοδικά, με την ένταση της θεραπείας να ελέγχεται από τον υπεύθυνο φυσικοθεραπευτή στο ειδικό μηχάνημα, όπως και το μήκος παλμού. Μπορεί να είναι συνεχής η παλμική, αναλόγως εάν σκοπός είναι η παραγωγή θερμικού αποτελέσματος ή όχι. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι μεθόδων ηλεκτροθεραπείας είναι:

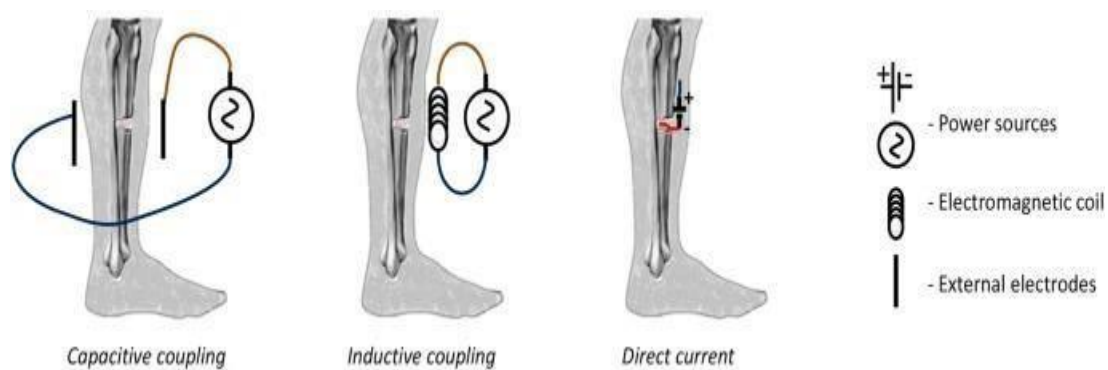
- T.E.N.S.
- Διαδυναμικά ρεύματα
- Φαραδικά ρεύματα
- Ρώσικα ρεύματα
- Γαλβανικά Ρεύματα
- Διασταυρούμενα ρεύματα

Μονάδα μέτρησης της έντασης του ρεύματος είναι το Amper (A), της ισχύος το Watt (W), της ηλεκτρικής τάσης το Volt (V) και της ηλεκτρικής αντίστασης το Ohm (Ω).

Τυπικά, τα ρεύματα μπορούν να εφαρμόζονται σε καθημερινή βάση στον ασθενή, αλλά όχι για διάστημα μεγαλύτερο των 30 λεπτών (π.χ. TENS).

Όσον αφορά την πάρωση καταγμάτων, κύριος τρόπος εφαρμογής ηλεκτροθεραπείας είναι η ηλεκτρική διέγερση. Σε αντίθεση με τα ρεύματα τα οποία χρησιμοποιούνται για μείωση του πόνου, για την οστική ανάπλαση οι χρόνοι θεραπείας κυμαίνονται από μισή έως 16 ώρες τη μέρα για συνεχές ρεύμα, ενώ για διακοπτόμενο από 1 έως 6 ώρες. Κύριοι μέθοδοι εφαρμογής ρευμάτων για οστική ανάπλαση είναι:

- Direct current (DC). Περιλαμβάνει την χειρουργικά ενδοδερμική τοποθέτηση ηλεκτρικής πηγής και ηλεκτροδίων στο σώμα η οποία ρυθμίζεται σε τιμές 10-100 μ A.
- Pulsed electromagnetic field (PEMF)
- Capacitive coupled (CC). Χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα σε ηλεκτρόδια τοποθετημένα στις αντίθετες πλευρές ενός κατάγματος, παράγοντας ηλεκτρικό πεδίο έντασης 0.1 έως 20 Gs (Bhavsar *et al.*, 2020)



Εικόνα 11: Ηλεκτροθεραπεία (Leppik et al., 2020)

4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

Επί του παρόντος, η θεραπεία παλμικού υπερήχου χαμηλής έντασης (LIPUS) χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση του σχηματισμού σε οξείας φάσης κατάγματα και κατάγματα ψευδάρθρωσης. Αντενδείκνυται σε ασθενείς που έχουν ασταθείς παραμορφώσεις και στους οποίους υπάρχει σημαντική οστική απώλεια. Υπάρχει τρέχουσα υποστήριξη για μια υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις των ηχητικών κυμάτων παράγουν μικροκίνηση στο κάταγμα και αυτό προκαλεί αύξηση της διέγερσης των μορίων προσκόλλησης διαμεμβρανικών κυττάρων γνωστών ως ιντεγκρίνες.

Τα ευεργετικά αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στα οστικά κύτταρα έχουν αναγνωριστεί για πάνω από έναν αιώνα. Έχει προταθεί ότι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ρυθμίζουν την παραγωγή αυξητικού παράγοντα, τη σύνθεση πρωτεογλυκάνης και κολλαγόνου και με αυτόν τον τρόπο αυξάνουν το ποσοστό και την αποτελεσματικότητα της επούλωσης κατάγματος.

Ωστόσο, δεν υπάρχουν σημαντικές ενθαρρυντικές επιδράσεις αυτής της θεραπείας στην επούλωση των οστών, αν και βρήκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των μελετών στα αναλυθέντα πρότυπα θραύσης, τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε. Παρ' όλα αυτά, η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής διέγερσης στην επούλωση των οστών είναι αβέβαιη και υπάρχει ανάγκη για μεθοδολογικά ορθές δοκιμές για την περαιτέρω επικύρωση των αποτελεσμάτων αυτής της θεραπείας (Marsell and Einhorn, 2010).

Σύμφωνα με μελέτες, είναι καταγεγραμμένες οι θετικές επιδράσεις του LLLT στην αποκατάσταση των οστών όπως απεικονίζεται με ιστοπαθολογική και μορφομετρική ανάλυση, κυρίως σε ενδιάμεσες (13 ημέρες) και καθυστερημένες περιόδους (25 ημέρες) μετά από τραυματισμό των οστών. Παρά τα αποτελέσματα αυτά, απαιτούνται περαιτέρω έρευνες για να

μελετηθούν οι πιθανοί μηχανισμοί απόκρισης που μπορεί να εξηγήσουν τις θετικές επιδράσεις του LLLT στον οστικό ιστό (Fávaro-Píri *et al.*, 2010).

Στην ψευδάρθρωση κατάγματος φαίνεται πως η θεραπεία με PEMF ανταγωνίζεται σθεναρά την χειρουργική επέμβαση. Αποδεικνύεται ότι η αποτελεσματικότητα της θεραπείας με PEMF είναι συγκρίσιμη με εκείνη της χειρουργικής επέμβασης για την ψευδάρθρωση κατάγματος. Σε ανοικτά κατάγματα, η χειρουργική επέμβαση υπερέβη το PEMF (89% και 78%, αντίστοιχα), αλλά σε κλειστά κατάγματα, το PEMF διαχειριζόταν τα κατάγματα πιο γρήγορα από τα χειρουργημένα κατάγματα (85% και 79%, αντίστοιχα). Η ημερήσια δοσολογία της PEMF θεραπείας είναι σημαντική για την θεραπευτική αγωγή. Μια μελέτη δόσης-απόκρισης έδειξε ότι μια αύξηση στον καθημερινό χρόνο θεραπείας συσχετίζεται με την επανεμφάνιση του χρόνου μέχρι την επούλωση των μη καταγμάτων. Ασθενείς που έλαβαν θεραπεία για 10 ώρες την ημέρα επουλώθηκαν κατά μέσο όρο 76 ημέρες νωρίτερα από ό, τι εκείνοι που έλαβαν θεραπεία λιγότερες από 3 ώρες την ημέρα (Nelson *et al.*, 2003).

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα έρευνα ασχολείται με την συμβολή των ηλεκτροφυσικών μέσων της φυσικοθεραπείας στην πόρωση καταγμάτων. Είναι γνωστό πως τα οστά υφίστανται μια σειρά αλλοιώσεων λόγω παθολογικών αιτιών που αναστέλλουν την αναγέννηση του οστίτη ιστού και που διακόπτουν την συνέχεια της δομής του όταν υφίστανται λόγω κάποιας εξωτερικής δύναμης η χρόνιας κόπωσης λύση της συνέχειάς τους, κοινώς κάταγμα. Η φυσικοθεραπεία είναι η επιστήμη η οποία με την βοήθεια των φυσικών μέσων που διαθέτει, συμβάλλει στην βελτιστοποίηση της ζωής των ανθρώπων. Δεδομένου των παθήσεων των οστών, είναι αναγκαία η ανεύρεση αρθρογραφικών αναφορών σχετικά με την πόρωση των οστών και την ανάπτυξη του οστίτη ιστού χρησιμοποιώντας τα φυσικά μέσα. Στην έρευνα που πραγματοποιείται αναζητούνται πληροφορίες από διάφορες βάσεις δεδομένων με γνώμονα συγκεκριμένα κριτήρια, τα οποία έχουν σαν σκοπό όταν συγκεντρωθούν να παρουσιάσουν και εμπεριστατωμένη έρευνα αναφορικά με την αποτελεσματικότητα των ηλεκτροφυσικών μέσων στην επούλωση καταγμάτων. Η έρευνα διενεργείται με την βοήθεια ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων στις οποίες η προσβασιμότητα είναι απλή και κυρίως ελεύθερη σε όλο το κοινό που ενδιαφέρεται να αναζητήσει αντίστοιχη γνώση η διασταύρωση εγκυρότητας απόψεων και πηγών, με την καθολικότητα των άρθρων στις πλατφόρμες αυτές να είναι δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά και λοιπά μέσα, καθιστώντας τις πληροφορίες αυτές απόλυτα έγκυρες. Οι βάσεις δεδομένων που κυρίως χρησιμοποιήθηκαν είναι: PubMed, NCBI, Medline και Google Scholar. Οι λέξεις κλειδιά που αξιοποιήθηκαν στην έρευνα είναι: bone repair, fracture, porosis, ultrasound, magnetic fields, Low-level LASER therapy, Low intensity pulsed ultrasound, electrical stimulation, rat fracture, dog fracture, rabbit fracture, LLLT, LIPUS.

Κατά την εύρεση των άρθρων προέκυψαν δώδεκα, τα οποία αναλύθηκαν ως προς τα αποτελέσματά τους. Ανέκυψαν επίσης αρκετά άρθρα τα οποία χρησίμευσαν ώστε να συγκεντρωθεί το θεωρητικό σκέλος της εργασίας. Τα τελευταία επιλέχθηκαν ως κατάλληλα λόγω της άμεσης και πρακτικής συγκέντρωσης των πληροφοριών τους, ενώ τα άρθρα τα οποία χρησίμευσαν στο ειδικό κομμάτι των ερευνών είχαν ξεκάθαρη παρουσίαση στις ερευνητικές

τους παραμέτρους, είτε αυτό αφορούσε διαφορετικά μέσα και ομάδες πειραματισμού, είτε ευδιάκριτες τις ρυθμίσεις που εφαρμόζονταν στα φυσικά μέσα σε κάθε θεραπεία.

Όσον αφορά το αμιγώς κομμάτι της εύρεσης άρθρων, επιλέχθηκαν στη μεγάλη τους πλειονότητα άρθρα με ρυθμίσεις εύρεσης full text, με κατηγοριοποίηση best match και τελευταίας εικοσαετίας.

Η εργασία που παρουσιάζεται είναι ανασκόπηση αρθρογραφίας και το περιεχόμενό της πρόκειται να εξεταστεί ως προς την αξιοπιστία και την εγκυρότητά του.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΕΥΝΩΝ

<p>Antonio Luiz b. Pinheiro, Ph.D., Marleny e. Martinez Gerbi, Ph.D., Elizabeth Arruda Carneiro Ponz, M.S., Luciana Maria Pedreira Ramalho, Ph.D., Aparecida M.C. Marques, Ph.D., Carolina Montagn Carvalho, Rafael de Carneiro Santos, Priscila Chagas Oliveira, and Manuela Nóia</p>	<p>Ιστολογική αξιολόγηση της επίδραση της φωτοβιοδιαμόρφωσης (photobiomodulation) λέιζερ στην επισκευή χειρουργικών καταγμάτων που δημιουργήθηκαν στα μηριαία οστά αρουραίων Wistar, τα οποία υποβλήθηκαν σε αγωγή η μη με μορφογενετικές πρωτεΐνες οστών (BMPs) και οργανικό μόσχευμα οστού βοοειδών</p>	<p>48 ενήλικοι αρσενικοί αρουραίοι Wistar χωρίστηκαν σε 4 τυχαιοποιημένες ομάδες των 12 ατόμων η καθεμία: ομάδα 1 placebo, ομάδα 2 (φωτοβιοδιαμόρφωση λέιζερ), ομάδα 3 (BMP++GBR (guided bone generation-οργανικό μόσχευμα βοοειδών), ομάδα 4 BMPs + οργανικό μόσχευμα βοοειδών + GBR + Laser Οι ακτινοβολημένες ομάδες έλαβαν επτά ακτινοβολίες κάθε 48 ώρες, η πρώτη αμέσως μετά τη χειρουργική επέμβαση. Στη φωτοβιοδιαμόρφωση λέιζερ (830 nm, 40 mW, CW, 0.6 mm) περιλαμβάνονταν συνολικά 16 J / cm² ανά συνεδρία σε τέσσερα σημεία (4 J/cm² το καθένα) ισαπέχοντας γύρω από την περιφέρεια του κατάγματος. Τα ζώα θανατώθηκαν μετά από 15, 21 και 30 μέρες</p>	<p>Τα αποτελέσματα έδειξαν ιστολογικές ενδείξεις αυξημένης εναπόθεσης ινών κολλαγόνου (σε 15 και 21 μέρες), καθώς και αυξημένη ποσότητα καλά οργανωμένων οστικών δοκίδων στο τέλος της πειραματικής περιόδου (30 d) στα ακτινοβολημένα ζώα σε σύγκριση με τους μη ακτινοβολημένα ποντίκια</p>	<p>Η χρήση φωτοβιοδιαμόρφωσης με λέιζερ σε συνδυασμό με BMP, οργανικά μόσχευμα οστών βοοειδών και GBR αυξάνει τα θετικά βιομοριακά αποτελέσματα της ενέργειας λέιζερ</p>
<p>Carla Roberta Tim & Paulo Sérgio Bossini & Hueliton Wilian Kido1 & Iran Malavazi & Marcia Regina von Zeska Kress & Marcelo Falsarella Carazzolle & Nivaldo Antonio</p>	<p>Διερεύνηση μορφολογικών μεταβολών του LLLT στα αρχικά στάδια της επούλωσης των οστών και μελέτη των οδών που διεγείρουν την έκφραση γονιδίων και που σχετίζονται με τον πολλαπλασιασμό και διαφοροποίηση των οστικών κυττάρων</p>	<p>100 αρουραίοι Wistar, 2 ομάδες, μία placebo, μια LLLT. Δημιουργήθηκαν χειρουργικά στο άνω τρίτο της κνήμης ελλείματα στο οστό. Η ακτινοβολία με λέιζερ (λέιζερ Ga-Al-As 830 nm μήκος κύματος, 30 mW ένταση, 94 s, 2, 8 J) πραγματοποιήθηκε για 1, 2, 3, 5 και 7 συνεδρίες</p>	<p>Η ιστοπαθολογική ανάλυση αποκάλυψε ότι τα ζώα που υποβλήθηκαν σε θεραπεία παράγαν αυξημένη ποσότητα νεοσχηματισμένου οστού στο σημείο της βλάβης. Επιπλέον, η ανάλυση μικροσυστοιχιών έδειξε ότι το LLLT παράγαγε σημαντική αύξηση στην έκφραση TGF-β, BMP, FGF και RUNX-2 που μπορεί να διεγείρει τον πολλαπλασιασμό</p>	<p>Το LLLT βελτιώνει την επούλωση των οστών παράγοντας σημαντική αύξηση στην έκφραση οστεογόνων γονιδίων</p>

Parizotto & Ana Cláudia Rennó			και τη διαφοροποίηση των οστεοβλαστών, γεγονός που μπορεί να σχετίζεται με τη βελτίωση της εναπόθεσης νεοσχηματισμένου οστού στη θέση του τραυματισμού	
Fávaro-Pípi E, Feitosa SM, Ribeiro DA, Bossini P, Oliveira P, Parizotto NA, Renno AC.	Η διερεύνηση και σύγκριση των επιδράσεων των low intensity ultrasound (LIPUS) και low-level laser therapy (LLLT) στην οστική επισκευή	3 ομάδες των 30 ζώων (ποντίκια) η καθεμία Α:χωρίς κάποιο φυσικό μέσο Β:με θεραπεία LLLT 830-nm LASER 50 J/cm(2) Γ:με θεραπεία LIPUS 30-mW/cm(2) Επίσης, κάθε ομάδα χωρίστηκε σε επιπλέον 10άδες, ανάλογα με τη μέρα την οποία σκοτώνονταν τα πειραματόζωα (7,13 και 25 μέρες)	Η ομάδα του LLLT έδειξε έντονη οστική ανάπλαση στις 13 και 15 μέρες ($p < 0.05$),συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Αντίθετα, η ομάδα του LIPUS δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές στην οστική ανάπλαση σε σχέση με την ομάδα ελέγχου	Η θεραπεία με LASER LLLT βελτιώνει της οστική ανάπλαση στα πειραματόζωα
Stuart J Warden, Robyn K Fuchs, Chris K Kessler, Keith G Avin, Ryan E Cardinal, Rena L Stewart	Η επίδραση του υπερήχου στην επισκευή των καταγμάτων	Δημιουργήθηκαν κατάγματα σε 30 αρουραίους (Long Evans) και στα δύο μηριαία, με μόνο τη μία πλευρά να δέχεται θεραπεία υπερήχων. Ο υπέρηχος εφαρμόστηκε από την πρώτη μέρα μετά τη δημιουργία του κατάγματος και για 5 μέρες την εβδομάδα, 20 λεπτά τη μέρα. Οι ρυθμίσεις του υπερήχου ήταν 1 MHz, 100 Hz συχνότητα, 2mm μήκος παλμού, 0.1W/cm ² ισχύ. Οι αρουραίοι θανατώθηκαν στις 25 και 40 μέρες και τα κατάγματα ελέγχθηκαν ως προς την οστική πυκνότητα και δύναμή τους	Στις 25 μέρες δεν παρουσιάστηκε διαφορά μεταξύ αυτών που είχαν υποστεί θεραπεία και μη. Στις 40 μέρες, τα κατάγματα που είχαν θεραπεία με υπέρηχο φάνηκε ότι έχουν 16,9% περισσότερα οστικά μέταλλα και ιχνοστοιχεία, το οποίο οδήγησε σε 25.8% αύξηση του του μεγέθους του οστού. Τα κατάγματα αυτά επίσης σε σχέση με αυτά στα οποία δεν είχαν εφαρμοστεί υπέρηχοι είχαν 81,3% μεγαλύτερη δομική μηχανική αντοχή	Στις 40 μέρες είναι εμφανής η ευεργετική δράση των θεραπευτικών υπερήχων στη πόρωση και ενδυνάμωση καταγμάτων

Fung CH, Cheung WH, Pounder NM, de Ana FJ, Harrison A, Leung KS	<p>Η επίδραση του LIPUS(Low-intensity pulsed ultrasound)στην επούλωση καταγμάτων από 3 διαφορετικές αποστάσεις,0-60-130 mm</p>	<p>Προξενήθηκαν μηριαία κατάγματα σε αρουραίους (Sprague-Dawley) και χωρίστηκαν σε 4 ομάδες, ανάλογα την απόσταση καταγμάτων και την ομάδα ελέγχου. Οι ρυθμίσεις εφαρμογής υπερήχου ήταν: 2.2cm κεφαλή, 1,5 MHz, 1kHz συχνότητα, ισχύς 30 mW/cm² Κάθε εβδομάδα πραγματοποιούνταν στα μοντέλα ραδιογραφίες, Ct scans, ιστολογικές εξετάσεις και μηχανικά τεστ</p>	<p>Το γκρουπ των 130mm είχε σημαντικά υψηλή οστική πυκνότητα στις 4 εβδομάδες σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Τα άλλα δυο γκρουπ είχαν επίσης περισσότερη πυκνότητα στις 4 εβδομάδες (p<0.005)</p>	<p>Προκύπτουν σημαντικά στοιχεία, καθώς ανάλογα του βάθους του κατάγματος και της αξονικής απόστασής του από το σημείο επαφής του υπερήχου, ο υπέρηχος είναι πιο αποδοτικός. Τελικώς, ασχέτως του βάθους, είναι απόλυτα αποτελεσματικός στην επισκευή καταγμάτων</p>
Fung CH, Cheung WH, Pounder NM, de Ana FJ, Harrison A, Leung KS	<p>Η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ρυθμίσεων στην ισχύ του LIPUS στην επισκευή καταγμάτων σε αρουραίους</p>	<p>Αρουραίοι (Sprague-Dawley) χωρίστηκαν σε 3 γκρουπ, την ομάδα ελέγχου, την ομάδα εφαρμογής LIPUS έντασης 30W/cm² και την ομάδα LIPUS έντασης 150W/cm². Κάθε εβδομάδα πραγματοποιούνταν στα μοντέλα ραδιογραφίες, Ct scans, ιστολογικές εξετάσεις και μηχανικά τεστ</p>	<p>Η ομάδα των 30 W/cm² είχε περισσότερες ευεργετικές αντιδράσεις σε σχέση με τις άλλες 2 ομάδες, τόσο στην οστική πυκνότητα, όσο και στη ποσότητα σκληρού οστού την 6^η εβδομάδα</p>	<p>Η αποτελεσματικότητα του LIPUS είναι δεδομένη, ενώ είναι αποτελεσματικό στα 30 έναντι των 150 W/cm² ένταση</p>
Ronald J. Midura, Michael O. Ibiwoye, Kimerly A. Powell, Yoshitada Sakai, Todd Doehring, Mark D. Grabiner, Thomas E. Patterson, Maciej Zborowski, Alan Wolfman	<p>Ο προσδιορισμός κατά πόσον το PEMF (Physio-Stim® και Osteo-Stim®) βοηθούν και επιταχύνουν την οστική ανάπτυξη</p>	<p>Πραγματοποιήθηκαν μηριαίες οστεοτομές 0.2 mm σε 15 αρουραίους (Sprague Dawley) 500-600gr, και χωρίστηκαν σε 2 γκρουπ. Σε αυτά τα 2 γκρουπ, το γκρουπ των PEMF υποχωρίστηκε στη μέση (4+4), με διαφορετικές ρυθμίσεις εκπομπής πεδίων (A:τριγωνικό,9V,3.8kHz, 5.56 ms παλμό και διάρκεια 67ms. B: τριγωνικό, 12,5V, 63kHz, 16μs και 670ms). Πέντε μέρες έπειτα από την τομή, εφαρμόστηκε 3 ώρες καθημερινά PEMF 7 μέρες τη βδομάδα για 5 βδομάδες</p>	<p>Αν και έως τις 9 μέρες δεν υπήρχαν διαφορές στις 2 ομάδες, τις επόμενες μέρες 13-20 υπήρξε διπλή διαφορά στον σχηματισμό σκληρού οστού στην ομάδα του PEMF και σε άλλους δείκτες, όπως και μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους 2 διαφορετικούς τρόπους εφαρμογής PEMF, καθότι μόνο το πρώτο είχε επίπτωση στην γρηγορότερη οστική ανάπτυξη</p>	<p>Είναι υπαρκτή η επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην επιτάχυνση της οστικής ανάπτυξης, αρκεί να έχουν το σωστό πρωτόκολλο και ρυθμίσεις εφαρμογής</p>

<p>Douglas C. Fredericks, Emily B. Petersen, Madison Rhodes, Grace A. Larew, and James V. Nepola</p>	<p>Η σύγκριση της αποτελεσματικότητας μεταξύ του PEMF και του CMF στην οστική ανάπλαση σε κουνέλια</p>	<p>Πραγματοποιήθηκαν κνημιαίες οστεοτομίες 1mm σε 97 αρσενικά λευκά κουνέλια Νέας Ζηλανδίας, βάρους 3-4 κιλών. Χωρίστηκαν σε γκρουπ ελέγχου, PEMF και CMF, 30 λεπτά, 3 και 6 ώρες ημερησίως. Οι θεραπείες άρχισαν 24 ώρες μετά τον τραυματισμό και για 14 η 21 μέρες, ανάλογα την θανάτωσή τους. PEMF: 4.5ms, 20 παλμοί στα 15 Hz, ένταση έως 1, mT. CMF: 2 μαγνητικά πεδία: ημιτονοειδές (76.6Hz, έως 40mT) και στατικό (20mT)</p>	<p>Στις 14 μέρες, τα γκρουπ των 3 και 6 ωρών υπήρξε αύξηση στη οστική αντοχή, επιστημονικά ενδιαφέρουσα όμως ουσιαστικά των 6 ωρών ($p < 0.05$). Στις 21 μέρες, τόσο τα γκρουπ των 3 και 6 ωρών ήταν αποτελεσματικά ($p < 0.05$, $p < 0.005$), όπως και το γκρουπ των 30 λεπτών PEMF ($p < 0.05$)</p>	<p>Τόσο το PEMF όσο και το CMF είναι αποτελεσματικά εργαλεία στην οστική ανάπλαση, ειδικά όταν υπάρχει εξάωρη εφαρμογή</p>
<p>Abdus Sattar Syed, M.S. Islam, K.S. Rabbani and M.S. Talukder</p>	<p>Η αποτελεσματικότητα του χαμηλούς εντάσεως PEMF στην οστική επισκευή</p>	<p>Χαμηλής έντασης PEMF σε 12 ασθενείς με είτε αργή ένωση οστών καταγμάτων η μη ένωση. 0.01-0.1 mtesla ένταση, 80 Hz, 0,3s παλμός κάθε 12 ms. Εφαρμόστηκε για 9-12 ώρες τη μέρα</p>	<p>Στις 14 εβδομάδες, σε 10 από τους 12 ασθενείς είχαν παρωθεί τα κατάγματα τους</p>	<p>Ο χαμηλής έντασης PEMF είναι αποτελεσματικός στην οστική επισκευή</p>
<p>Zimmerman M, Parsons JR, Alexander H, Weiss AB</p>	<p>Εάν επηρεάζεται η ικανότητα ανάπλασης του οστού όταν εφαρμόζεται σε αυτό ηλεκτρική διέγερση</p>	<p>Μέσω της χρήσης ηλεκτροδίου καθόδου με ανθρακόνημα, χωρίστηκαν σε 4 γκρουπ κουνελιών (3,5-5kg), 1 ελέγχου με 3 κουνέλια και τα άλλα 3 με 3, 3 και 4 κουνέλια αντίστοιχα. Κάθε κουνέλι σε ομάδα είχε ενεργή κάθοδο στη μία του κνήμη και μια αντίθετη κάθοδο ελέγχου. Τα τρέχοντα επίπεδα ηλεκτρικής διέγερσης σε αυτές τις τρεις ομάδες ήταν 1,5 και 20μΑ, αντίστοιχα. Μέσω τομών στην πάνω και κάτω πλευρά της κνήμης τους, τοποθετήθηκε στο εσωτερικό του οστού το ηλεκτρόδιο. Στις 21 μέρες, τα ζώα σκοτώθηκαν</p>	<p>Τα αποτελέσματα δείχνανε σαφέστατη αποτελεσματικότητα και των 3 διαφορετικών ρυθμίσεων ηλεκτρικού ρεύματος, με την ομάδα του 1μΑ να έχει τη μεγαλύτερη διαφορά στον σχηματισμό νέου οστού, ενώ η ομάδα των 20μΑ είχαν τη μεγαλύτερη παραγωγή ινώδους ιστού</p>	<p>Η ηλεκτρική διέγερση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος στην επιτάχυνση δημιουργίας νέου οστού, όπως και ινώδους ιστού</p>

<p>Carla Christina Medalha, Beatriz Oliveira Amorim, Jéssica Mayra Ferreira, Poliane Oliveira, Rosa Maria Rodrigues Pereira, Carla Tim, Ana Paula Lirani-Galvão, Orivaldo Lopes da Silva, and Ana Claudia Muniz Renno</p>	<p>Η σύγκριση της επίδρασης low-level LASER therapy (LLLT) και electrical stimulation (ES) στην απώλεια οστών σε αρουραίους που έχουν τραυματιστεί στο νωτιαίο μυελό</p>	<p>Τριάντα επτά αρσενικοί αρουραίοι (Wistar) χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες: ομάδα ελέγχου (CG), ομάδα ελέγχου με τραυματισμένο νωτιαίο μυελού (SC), τραυματισμένου μυελό + λέιζερ (SCL; GaAlAs, 830 nm, CW, 30 mW / cm², τραυματισμένου μυελού + ηλεκτρικό πεδίο διέγερση (SCE; 1,5 MHz, duty cycle 1: 4, 30 mW, 20 λεπτά)</p>	<p>Ενώ οι αρουραίοι με τραυματισμένο μυελό δείξαν πολύ σημαντική μείωση οστικής μάζας, τόσο η ομάδα του λέιζερ όσο και η ομάδα του ηλεκτρισμού έδειξαν πολύ καλύτερα αποτελέσματα</p>	<p>Και οι δύο θεραπείες είχαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα στον μεταβολισμό των οστών των αρουραίων</p>
<p>Graciela Ana Giannunzio, Rodolfo Carlos Speerli, María Beatriz Guglielmotti</p>	<p>Αξιολόγηση της επίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου στην επούλωση τραυμάτων, περιλαμβάνοντας την τοποθέτηση ενός μεταλλικού στρωματοειδούς εμφυτεύματος στην κνήμη αρουραίων</p>	<p>Χρησιμοποιήθηκαν 40 αρσενικοί αρουραίοι (Wistar), βάρους περίπου 100gr, όπου χωρίστηκαν σε 4 ομάδες των 10,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ομάδα ελέγχου, 2. ομάδα 1,68μΑ/ cm², 115 Hz, θετική αρνητική πολικότητα 3. ομάδα 2.52μΑ/ cm², 650HZ, αρνητική πολικότητα 4. ομάδα 2.52μΑ/ cm², 650HZ, θετική πολικότητα <p>Μία λάμα από εμφύτευμα τιτανίου (6 x 1 x 0,1 mm³) εισήχθη στη κνήμη και τοποθετήθηκε εσωτερικά. Με το πέρας 15 μερών, τα ζώα σκοτώθηκαν</p>	<p>Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα γκρουπ 3 και 4 ήταν αποτελεσματικά στην επιτάχυνση και βελτίωση του όγκου του οστού</p>	<p>Η ηλεκτρική διέγερση είναι αποτελεσματική στην οστική ανάπλαση, αρκεί να εφαρμόζεται με τις κατάλληλες ρυθμίσεις</p>

Παρακάτω αναλύονται δώδεκα έρευνες όσον αφορά τα αποτελέσματά τους σχετικά με την επιτάχυνση της οστικής πώρωση που κάθε φυσικό μέσο επιτυγχάνει.

- Στην έρευνά τους οι Antonio Luiz B. Pinheiro, Ph.D., Marleny E. Martinez Gerbi, Ph.D., Elizabeth Arruda Carneiro Ponzi, M.S., Luciana Maria Pedreira Ramalho, Ph.D., Aparecida M.C. Marques, Ph.D., Carolina Montagn Carvalho, Rafael de Carneiro Santos, Priscila Chagas Oliveira και Manuela Nόia το 2008 αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα της φωτοβιοδιαμόρφωσης (photobiomodulation) LASER στην επισκευή χειρουργικών καταγμάτων, είτε σε συνδυασμό με bone morphogenic proteins (BMPs), είτε με οργανικό μόσχευμα βοειδών (organic bovine bone graft). Στην έρευνα έλαβαν μέρος 48 ενήλικοι αρσενικοί αρουραίοι Wistar, βάρους 270–320g, στους οποίους δημιουργήθηκε μια τυποποιημένη κοιλότητα 2 mm με τρυπάνι στο ανώτερο τρίτο της εξωτερικής πλευράς του αριστερού μηριαίου οστού κάθε ζώου. Οι αρουραίοι αυτοί χωρίστηκαν σε 4 τυχαιοποιημένες ομάδες των 12 ατόμων η καθεμία: η 1^η ομάδα είναι η ομάδα placebo, η 2^η η ομάδα φωτοβιοδιαμόρφωσης LASER, η 3^η η bone morphogenic proteins (BMPs) σε συνδυασμό με organic bovine bone graft, και η 4^η ο συνδυασμός των bone morphogenic proteins (BMPs), organic bovine bone graft και LASER photobiomodulation (LPBM). Οι ακτινοβολημένες ομάδες έλαβαν επτά ακτινοβολίες κάθε 48 ώρες, η πρώτη αμέσως μετά τη χειρουργική επέμβαση. Στη φωτοβιοδιαμόρφωση LASER (830 nm, 40 mW, CW, 0.6 mm) περιλαμβάνονταν συνολικά 16 J / cm² ανά συνεδρία σε τέσσερα σημεία (4 J/cm² το καθένα), ισαπέχοντας γύρω από την περιφέρεια του κατάγματος. Τα ζώα θανατώθηκαν μετά από 15, 21, και 30 μέρες. Στην ομάδα ελέγχου, την 15^η μέρα το κατάγμα είχε γεμίσει με μυελώδη ιστό και οστεοβλαστικές διεργασίες ήταν παρούσες στα περισσότερα δείγματα. Δεν παρατηρήθηκε νέκρωση η εναπόθεση κολλαγόνου ιστού μέσα στο σημείο. Την 21^η μέρα, οι περισσότεροι αρουραίοι έδειξαν σημεία πρώιμης φλοιώδους επιδιόρθωσης και η παρουσία ουλώδους ιστού παρέμεινε σε μεγάλο βαθμό. Με το τέλος την κλινικής μελέτης, οι αρουραίοι έδειξαν πλήρη φλοιώδη επιδιόρθωση και το σημείο παρέμεινε να έχει κυρίως μυελώδη ιστό. Στην ομάδα που έλαβε θεραπεία μόνο με LPBM, στις 15 μέρες το σημείο γέμισε με μυελώδη ιστό και μεγάλες ποσότητες νεοσχηματισμένου οστού παρατηρήθηκε στα περισσότερα δείγματα. Λεπτές δοκίδες και λίγες ίνες κολλαγόνου παρατηρήθηκαν μέσα το ελάττωμα. Στα περισσότερα δείγματα, η φλοιική επιδιόρθωση ήταν ολοκληρωμένη σε αυτήν τη φάση. Η εναπόθεση κολλαγόνου ήταν πολύ έντονη, όπως και η παρουσία οστεοκλαστών. Την 21^η μέρα, κάποια

οστεοβλαστική δραστηριότητα παρατηρήθηκε, με το σημείο να βρίθει από μυελώδη ιστό χωρίς εμφανή εναπόθεση ινών σπογγώδους οστού ή κολλαγόνου. Σε όλα τα δείγματα, η φλοιική επιδιόρθωση ήταν ολοκληρωμένη. Στο τέλος του πειράματος, η εικόνα παρέμεινε παρόμοια με εκείνη που παρατηρήθηκε την ημέρα 21, και η φλοιώδης επισκευή ήταν πλήρης σε όλα τα δείγματα. Δεν παρατηρήθηκε νέκρωση. Στην ομάδα που παρασχέθηκαν μόνο βιοϋλικά, την 15^η μέρα τα αυτά γέμισαν το κάταγμα. Υπήρχε οστεοκλαστική παρουσία, όπως και έντονος σχηματισμός νέου οστού, αν και μέτριες ποσότητες εναπόθεσης κολλαγόνου ήταν παρόντες εκείνη την περίοδο. Η φλοιώδης επισκευή δεν ήταν ολοκληρωμένη σε πολλά δείγματα. Την 21^η μέρα, η φλοιώδης επισκευή ήταν εμφανής στα μισά δείγματα και αυξημένη ένταση σχηματισμού νέου οστού ήταν παρών γύρω από τη περιοχή εναπόθεσης των βιοϋλικών, μαζί με εναπόθεση κολλαγόνου ιστού. Στο τέλος του πειράματος, αν και μέσα στη κοιλότητα του κατάγματος υπήρχε μεγαλύτερη εναπόθεση νέου οστού, σε γενικές γραμμές η φλοιώδης επισκευή έμεινε ανολοκλήρωτη. Στην ομάδα LASER και βιοϋλικών, 15 μέρες η φλοιώδης κατασκευή ήταν πλήρης στα περισσότερα δείγματα. Το κάταγμα γέμισε από το βιοϋλικό και παρατηρήθηκε νεοσχηματισμένο οστό. Μέσα στο βιοϋλικό παρατηρήθηκαν λεπτές ίνες κολλαγόνου και μέτριες ποσότητες χρόνιας φλεγμονώδους διήθησης και πρόσφατα σχηματισμένα αιμοφόρα αγγεία. Δεν παρατηρήθηκε επαναπορρόφηση του φλοιώδους οστού σε αυτό το σημείο. Την 21η ημέρα παρατηρήθηκε στα μισά από τα δείγματα πλήρης φλοιώδης επισκευή. Επαναπορρόφηση του φλοιώδους οστού και αντικατάστασή τους από νεοσχηματισμένο οστό παρατηρήθηκε, μαζί με μικρής έντασης φλεγμονής και παχύτερες ίνες κολλαγόνου. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στο τέλος του πειράματος. Συμπεραίνοντας, η χρήση LASER ήταν αποτελεσματική στην επιτάχυνση επούλωσης των καταγμάτων σε συνδυασμό με βιοϋλικό, καθότι παρατηρήθηκε ταχύτερη εναπόθεση κολλαγόνου, όπως και ταχύτερη φλοιώδη επισκευή (Pinheiro *et al.*, 2008).

- Στην μελέτη τους οι Tim CR, Bossini PS, Kido HW, Malavazi I, von Zeska Kress MR, Carazzolle MF, Parizotto NA και Rennó AC το 2015 διερεύνησαν τις μορφολογικές μεταβολές του LLLT στα αρχικά στάδια της επούλωσης των οστών και μελέτησαν τις οδούς που διεγείρουν την έκφραση γονιδίων και που σχετίζονται με τον πολλαπλασιασμό και διαφοροποίηση των οστικών κυττάρων. Για την έρευνα συγκεντρώθηκαν 100 αρσενικοί αρουραίοι Wistar, 12 εβδομάδων, 250– 300 g και

χωρίστηκαν σε 2 ομάδες, στην ομάδα placebo και στην ομάδα που ακτινοβολήθηκε. Έπειτα, κάθε ομάδα χωρίστηκε και αυτή με τη σειρά της σε 5 υποομάδες, με βάση το χρόνο θανάτωσής τους: 12 και 36 ώρες, 3-5 και 7 μέρες έπειτα από το χειρουργείο. Στους αρουραίους δημιουργήθηκε οστικό έλλειμα στο άνω τρίτο των κνημών τους αμφοτερόπλευρα. Η ακτινοβολήση με LLLT είχε τις εξής παραμέτρους: συνεχές Ga-Al-As, 830 nm, 0.6mm, 0.0028 cm², 30 mW, 94 s, 2.8 J, 1000J/cm². Οι συνεδρίες έγιναν κάθε 24 ώρες μετά το χειρουργείο και άρα οι ομάδες έλαβαν 1,2,3,5 η 7 συνεδρίες κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στην ομάδα ελέγχου, έπειτα από 12 ώρες, εντοπίστηκε σε περιορισμένο βαθμό αιματική πήξη και φλεγμονώδης διεργασία με ίνωση και κύτταρα φλεγμονής. Μετά από 36 από, η ιστολογική ανάλυση έδειξε πήξη του αίματος και φλεγμονή, όπως και παρουσία πολυμορφοπύρηνων κυττάρων στη περιοχή. Την 3^η μέρα, ομάδες κυττάρων που συναντώνται σε φλεγμονώδεις διεργασίες ήταν στη περιοχή, καθώς και ανώριμο νεοσχηματισμένο οστό και κοκκιώδης ιστός. Έπειτα από 5 μέρες, ήταν έντονη η παρουσία ανώριμου νεοσχηματισμένου οστού, κοκκιώδους ιστού και φλεγμονώδους διεργασίας. Στις 7 ημέρες, κοκκιώδης ιστός εντοπίστηκε σε σχεδόν όλη την περιοχή του οστικού ελλείματος. Η ομάδα του LLLT στις 12 ώρες, παρουσιάστηκε σε έντονο βαθμό πήξη του αίματος στο κέντρο του οστικού ελλείματος. Ωστόσο, ίνωση και φλεγμονώδης διεργασία εντοπίστηκε στη ευρύτερη περιοχή ,με πολυμορφοπύρηννα κύτταρα, κυρίως ουδετερόφιλα να είναι διεσπαρμένα σε μεγάλο βαθμό. Στις 36 ώρες, έντονη φλεγμονώδης διαδικασία και περιορισμένος κοκκιώδης ιστός παρατηρήθηκε κυρίως στην περιφέρεια του οστικού ελλείματος. Την 3^η μέρα, εντοπίστηκαν λίγα φλεγμονώδη κύτταρα. Το περισσότερο μέρος του ελλείματος είχε γεμίσει με κοκκιώδη ιστό και η περιφέρεια με νεοσχηματισμένο οστό. Την 5^η μέρα, ο κοκκιώδης ιστός και το οστό είχαν σχηματιστεί και οργανωθεί με πιο αποτελεσματικό τρόπο σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Την 7^η μέρα, υπήρχε πλήρης απουσία φλεγμονώδων κυττάρων και τα οστικά ελλείματα είχαν γεμίσει με νεοσχηματισμένο οστό. Βέβαια, περιοχές με κοκκιώδη ιστό ακόμη εντοπιζόνταν. Σύμφωνα με τη μορφομετρική ανάλυση, στις 12 και 36 ώρες δεν εντοπίστηκε νέο οστό. Επιπλέον, η ομάδα του LLLT στις ημέρες 3-5-7 παρουσίασαν στατιστικά μεγαλύτερο ποσό καινούριου οστό σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που βρέθηκαν στην παρούσα μελέτη δείχνουν ότι το LLLT βελτίωσε την επούλωση των οστών εξαιτίας σημαντικής αύξησης της έκφρασης των οστεογονικών γονιδίων. Αυτά τα δεδομένα υπογραμμίζουν τη δυνατότητα χρήσης αυτής της θεραπείας στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των τεχνικών αναγέννησης των

οστών (Tim *et al.*, 2015).

- Στην μελέτη τους οι Fávares-Pípi E, Feitosa SM, Ribeiro DA, Bossini P, Oliveira P, Parizotto NA και Renno AC το 2010 αξιολογούν και συγκρίνουν την επίδραση του LIPUS και του LLLT στην οστική επισκευή. Στην έρευνα έλαβαν μέρος 90 ενήλικοι αρσενικοί αρουραίοι Wistar (300 ± 20 g), οι οποίοι χωρίστηκαν σε 3 τυχαιοποιημένες ομάδες, στην ομάδα ελέγχου, στην ομάδα του LLLT και στην ομάδα του LUPUS. Καθένα από αυτά τα γκρουπ χωρίστηκε και σε 3 υποομάδες, ανάλογα με τον χρόνο θανάτου των ζώων, στις 7, 13 και 21 μέρες έπειτα από το χειρουργείο τους. Στους αρουραίους πραγματοποιήθηκε οστικό έλλειμα στο άνω τρίτο της κνήμης τους. Οι θεραπείες στις ομάδες LLLT και LIPUS άρχισαν 24 ώρες έπειτα από το χειρουργείο και έγιναν 3, 6 η 12 φορές, ανάλογα τον χρόνο ζωής των δειγμάτων, και με 48 ώρες διαφορά ανάμεσα στις συνεδρίες. Οι ρυθμίσεις του LIPUS ήταν: 1.5 MHz, 1:4 duty cycle, 30 mW/cm², στατική εφαρμογή και 20 λεπτά συνεδρία. Οι ρυθμίσεις του Ga-Al-As LLLT ήταν: 830 nm συνεχόμενο, 0.028-cm² πάχος διαμέτρου, 50 W/cm², 50 J/cm², 30 mW, με 47 δευτερόλεπτα χρόνο ακτινοβολίας και συνολική ενέργεια ανά σημείο 0,51J. Σύμφωνα με την ιστολογική ανάλυση, 7 μέρες αφότου έγινε το χειρουργείο, το οστικό έλλειμα στην ομάδα ελέγχου είχε γεμίσει με κοκκιώδη ιστό έντονα κυτταροποιημένο. Εντοπίστηκε μερικώς διαδικασία δημιουργίας νέου οστού σε 5 δείγματα. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν τα ζώα τα οποία έλαβαν θεραπεία LLLT, με δείγματα να έχουν σχηματίσει ινώδες οστό. Τα ζώα της ομάδας LIPUS έδειξαν κοκκιώδη ιστό έντονα κυτταροποιημένο, ο οποίος αποτελούνταν από ίνες κολλαγόνου και μεσεγχυματικά κύτταρα. Μόνο 2 ζώα παρουσίασαν σχηματισμό ινώδους οστού. Την 13^η μέρα, η ομάδα ελέγχου παρουσίασε σχηματισμό νέου οστού και αναμόρφωση των οστικών δοκίδων επικαλυπτόμενο από κοκκιώδη ιστό και βασεοφιλικές γραμμές αναστροφής. Ο μυελός των οστών παρουσίασε επιπροσθέτως υψηλά ποσά αγγείωσης. Η ομάδα του LLLT είχε έντονο σχηματισμό νέου οστού, το οποίο επικαλύπτονταν από πυκνά αγγειοποιημένο συνδετικό ιστό με ταυτόχρονη οστεογενή δραστηριότητα, όπως και πρωταρχική οστική εναπόθεση. Στα δείγματα στα οποία εφαρμόστηκε LIPUS παρατηρήθηκε νέος σχηματισμός οστού στα τοιχώματα του οστικού ελαττώματος που περιβάλλονταν από ιστό κοκκοποίησης με περιορισμένη εναπόθεση πρωτογενούς οστού. Την 25^η ημέρα, ώριμες οστικές δοκίδες εντοπίστηκαν να γεμίζουν το οστικό ελάττωμα στην ομάδα ελέγχου. Στην ομάδα του LASER επίσης εντοπίστηκε ώριμο οστό στην επιφάνεια σε αντιπροσωπευτικές περιοχές μυελού των οστών. Στην ομάδα LIPUS, αρκετή ποσότητα αναμόρφωσης οστικών δοκίδων και έντονη αγγείωση μυελού των οστών εντοπίστηκαν.

Καταλήγοντας, τα ζώα στα οποία έγινε θεραπεία ακτινοβολήσης με LLLT παρουσίασαν στατιστικά μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες 2 ομάδες όσον αφορά το εμβαδόν της περιοχής που εντοπίστηκε νεοσχηματισμένο οστό. Η παρατήρηση αυτή αφορά τα δείγματα όταν γίνεται σύγκριση 13 και 25 μέρες έπειτα από το χειρουργείο. Όταν συγκρίθηκαν η ομάδα ελέγχου και η ομάδα LIPUS, δεν βρέθηκαν ουσιώδεις διαφορές όσον αφορά την αποτελεσματικότητα μεταξύ τους. Συνεπώς, η αποδοτικότητα του LLLT στη συγκεκριμένη έρευνα ήταν εμφανής έναντι της θεραπείας LIPUS, η οποία συγκρινόμενη με την ομάδα ελέγχου δεν είχε αποδοτικότερη επίδραση (Fávaro-Píri *et al.*, 2010).

- Στην έρευνά τους οι Stuart J Warden, Robyn K Fuchs, Chris K Kessler, Keith G Avin, Ryan E Cardinal και Rena L Stewart το 2006 διερεύνησαν την επίδραση του υπέρηχου στην επισκευή καταγμάτων. Τριάντα αρσενικοί αρουραίοι Long-Evans (350 – 400 g) υπέστησαν αμφίπλευρα κατάγματα, στο μέσο των μηριαίων τους οστών και χωρίστηκαν σε 2 γκρουπ. Εφαρμόστηκε θεραπεία LIPUS και στα 2 κάτω άκρα, μόνο ωστόσο η μία πλευρά είχε ενεργή την εκπομπή υπερήχων και με ρυθμίσεις εκπομπής: 1 MHz, 100 Hz συχνότητα, 2mm μήκος παλμού, 0.1W/cm² ισχύ. Στους αρουραίους εφαρμόστηκε θεραπεία από την 1^η μέρα μετά το κάταγμα και για 25 η 40 μέρες, ανάλογα με το πότε θανατώθηκαν, με συνολικά 16 η 27 θεραπείες αντίστοιχα, 5 φορές τη βδομάδα για 20 λεπτά. Από τα 30 ζώα, τα 26 ολοκλήρωσαν το πείραμα, καθότι δείγμα του γκρουπ των 25 μερών πέθανε στις πρώτες μέρες, και 3 ακόμη, ένα από το πρώτο και 2 από το δεύτερο γκρουπ αποκλείστηκαν από το πείραμα. Τελικώς το γκρουπ των 25 ημερών είχε 14 ζώα και των 40 ημερών 12 ζώα για μελέτη. Δεν εντοπίστηκε διαφορά στα κατάγματα τις πρώτες 25 μέρες, όσον αφορά τα: volumetric bone mineral density (ογκομετρική οστική πυκνότητα-vBMD), bone area (οστική περιοχή-B.A) και site bone mineral content (μεταλλική περιεκτικότητα οστικής περιοχής-BMC) Αντιθέτως, στις 40 μέρες, τα κατάγματα τα οποία είχαν ενεργή τη θεραπεία LIPUS παρουσίασαν 14.3% αύξηση στο BMC. Υπήρξε επίσης αύξηση στο μέγεθος του οστού, με τα κατάγματα στα οποία εφαρμόστηκε θεραπεία να έχουν 25,8% παραπάνω οστική περιοχή. Στις 25 μέρες επίσης, δεν εντοπίστηκε διαφορά στην απόλυτη δύναμη (ultimate force), στην σκληρότητα (stiffness) ή στον λόγο ενέργειας προς απόλυτης δύναμη (energy to ultimate force). Ωστόσο, στις 40 ημέρες, τα κατάγματα της ενεργής θεραπείας είχαν 81,3% και 63,4% μεγαλύτερη απόλυτη δύναμη και σκληρότητα αντίστοιχα. Όσον αφορά στον λόγο ενέργειας προς απόλυτη δύναμη, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά, αλλά πιστεύεται ότι για αυτό οφείλεται η έλλειψη αξιόπιστων

δεδομένων, λόγω της φύσης της έρευνας. Συνοψίζοντας, η έρευνα συμπεραίνει ότι η θεραπεία με LIPUS είναι αποτελεσματική για την επούλωση καταγμάτων. Ωστόσο, οι ερευνητές παραμένουν διστακτικοί ως προς την γενικευμένη καθιέρωση της χρήσης του καθώς απαιτούνται ευρύτερες κλινικές μελέτες ώστε να προσδιοριστεί αποδοτικότερα η αποτελεσματικότητά του (Warden *et al.*, 2006).

- Στη έρευνά τους οι Chak-Hei Fung , Wing-Hoi Cheung, Neill M Pounder , F Javier de Ana , Andrew Harrison και Kwok-Sui Leung το 2014 διερεύνησαν την επίδραση του LIPUS (Low-intensity pulsed ultrasound) στην επούλωση καταγμάτων από 3 διαφορετικές αποστάσεις, 0-60-130 mm. Στην έρευνα έλαβαν μέρος σαν πειραματόζωα 72 θηλυκοί αρουραίοι Sprague–Dawley, 7 μηνών και χωρίστηκαν σε 4 ομάδες (18 αρουραίοι στη κάθε ομάδα), στην ομάδα ελέγχου και στις ομάδες θεραπείας με LIPUS από 0,60 και 130 mm απόσταση εφαρμογής του θεραπευτικού υπερήχου. Στους αρουραίους δημιουργήθηκαν κλειστά εσωτερικά κατάγματα στη μεσότητα του αριστερού μηριαίου τους. Οι ρυθμίσεις του θεραπευτικού υπερήχου ήταν 2.2cm κεφαλή, 1,5 MHz, 1kHz συχνότητα, ισχύς 30 mW/cm για 20 λεπτά τη μέρα, για 4 ή 6 εβδομάδες και από τη δεύτερη μετεγχειρητική μέρα. Οι μισοί αρουραίοι θανατώθηκαν στις 4 εβδομάδες, 9 από κάθε γκρουπ. Τα ραδιολογικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η θεραπεία με LIPUS δημιουργούσε διαφορετικό μέγεθος κάλλου στη περιοχή ανάλογα με τη ρύθμισή του. Όλες οι θεραπευτικές ομάδες έδειξαν μεγαλύτερο πλάτος κάλλου (Callus width-CW) σε σχέση με την ομάδα ελέγχου ,και με την ομάδα των 0mm τη 2^η και 3^η εβδομάδα να είναι καλύτερη, των 60 mm την 2^η-6^η και των 130 την 2^η με 4^η. Η ομάδα των 60 mm ήταν η καλύτερη στο CW και σημαντικά καλύτερη έναντι της 0mm στις 2,3,5,6 εβδομάδες, όπως και σε σχέση με την ομάδα των 130mm τις εβδομάδες 2,5 και 6. Ομοίως, όλες οι ομάδες θεραπείας είχαν σαφώς υψηλότερα ποσοστά CA (Callus Area-Εμβαδό κάλλου) συγκρινόμενες με την ομάδα ελέγχου ,με την ομάδα 0mm καλύτερη στις 2 εβδομάδες,, την 60mm τις εβδομάδες 2-5 και την 130mm την 2^η και 3^η. Η ομάδα 60mm επίσης υπερτέρησε έναντι της 60mm την 2^η, 3^η και 5^η εβδομάδα, ενώ υπερτέρησε και της 130mm την 2^η εβδομάδα. Όσον αφορά την παράμετρο του TMD (mineralized tissue density-πυκνότητα μεταλλικού ιστού), άπασες οι θεραπευτικές ομάδες υπερκέρασαν σε αποτελεσματικότητα το γκρουπ ελέγχου, ειδικά την 4^η εβδομάδα. Όσον αφορά το συνολικό BV/TV (bone volume percentage- ποσοστό όγκου των οστών), η ομάδα των 130mm ήταν η καλύτερη την εβδομάδα 4 και σημαντικά καλύτερη έναντι της ομάδας ελέγχου. Για την low-density bone micro- architecture (μικροαρχιτεκτονική οστού χαμηλής πυκνότητας), οι ομάδες 0 και 60 mm είχαν

σημαντικά υψηλότερο BV1/TV την 4^η εβδομάδα αναφορικά με το γκρουπ ελέγχου. Η 60 mm βρέθηκε την 6^η εβδομάδα να έχει σημαντικά υψηλότερο BV1/TV συγκριτικά με την 0mm όπως και από την 130mm την 4^η και 6^η εβδομάδα. Αντιθέτως, η ομάδα των 130mm είχε το μεγαλύτερο Tb. Th (trabecular thickness-δοκιδικό πάχος) την 4^η εβδομάδα με σημαντική διαφορά από όλες τις άλλες ομάδες. Αναφορικά ως προς την μικροαρχιτεκτονική του κάλλου, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά ανάμεσα στις ομάδες στον δείκτη Tb.N (Trabecular number-αριθμός δοκίδων). Στην ιστομορφολογική ανάλυση, οι ομάδες των 0 και 60 mm παρουσίασαν μεγαλύτερη μείωση χόνδρινων ιστών και αύξηση της ποσότητας του ινώδους ιστού στην περιοχή του κατάγματος την 4^η και 6^η εβδομάδα. Όλες οι ομάδες θεραπείας είχαν σημαντικά υψηλότερο Wo.B.Ar/Car (Woven bone area fraction-κλάσμα περιοχής ινώδους οστού) την 4^η εβδομάδα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, ενώ η ομάδα των 60mm είχε σημαντικά υψηλότερο Wo.B.Ar/Car σε σχέση με την 130mm την 4^η εβδομάδα. Τέλος, ο δείκτης CgAr/CAr (Cartilage area fraction- κλάσμα περιοχής χόνδρου) ήταν σημαντικά υψηλότερος στην ομάδα των 0mm έναντι των 130 mm την 4^η εβδομάδα. Όσον αφορά τις βιομηχανικές δοκιμασίες, μόνο η ομάδα των 130mm έδειξε σημαντικά υψηλότερη μέγιστη τιμή ροπής και στρωφικής αντοχής συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου την 4^η εβδομάδα. Με την ολοκλήρωση της έρευνας εξ σημαντικά στοιχεία, καθώς ανάλογα του βάθους του κατάγματος και της αξονικής απόστασής του από το σημείο επαφής του υπερήχου, ο υπέρηχος είναι πιο αποδοτικός σε διαφορετικούς δείκτες παρατήρησης. Συνοψίζοντας, ασχέτως του βάθους εφαρμογής του LIPUS, συμπεραίνεται ότι είναι απόλυτα αποτελεσματικός στην επισκευή καταγμάτων (Fung *et al.*, 2014).

- Στη μελέτη τους οι Chak-Hei Fung, Wing-Hoi Cheung, Neill M Pounder, F Javier de Ana, Andrew Harrison και Kwok-Sui Leung το 2012 συγκρίνουν τις επιδράσεις της διαφορετικής έντασης θεραπευτικού υπερήχου σε κατάγματα. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα μεταξύ LIPUS έντασης 30 mW/cm² και μεταξύ 150 mW/cm². Για την έρευνα συγκεντρώθηκαν 54, 7μηνών θηλυκοί αρουραίοι Sprague-Dawley και τους προξενήθηκε κλειστό κάταγμα στο αριστερό τους μηριαίο οστό. Οι αρουραίοι χωρίστηκαν σε 3 γκρουπ των 18 δειγμάτων έκαστο: στην ομάδα

ελέγχου, στο γκρουπ του 30 mW/cm² LIPUS και στο γκρουπ των 150 mW/cm LIPUS. Οι ρυθμίσεις του υπέρηχου πλην της διαφορετικής έντασης εφαρμογής ήταν 1.5 MHz, 1 kHz, 20% duty cycle και άρχισε την 2^η μετεγχειρητική ημέρα. Στις 4 και 6 εβδομάδες έπειτα από την πρώτη συνεδρία ,τα ζώα θανατώθηκαν. Η ποσοτική ανάλυση φανέρωσε ότι η ομάδα LIPUS-30 είχε ιδιαίτερα μεγαλύτερο CW (Callus Width-πάχος κάλλου) συγκριτικά με τις υπόλοιπες ομάδες τις εβδομάδες 2-5. Η LIPUS-150 εμφάνισε υψηλότερο CW την εβδομάδα 2 συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου αλλά μετά την εβδομάδα 3 δεν παρουσίασε κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Ομοίως, όσον αφορά το CA (Callus area- περιοχή κάλλου),η ομάδα LIPUS-30 είχε ιδιαίτερα μεγαλύτερο τις εβδομάδες 2-5 συγκριτικά με τις υπόλοιπες 2 ομάδες και η LIPUS-150 εμφάνισε υψηλότερο CA την εβδομάδα 2 από την ομάδα ελέγχου αλλά μετά την εβδομάδα 2 δεν παρουσίασε κάποια σημαντική διαφορά. Την 4^η εβδομάδα, η LIPUS-30 εμφάνισε πολύ μεγαλύτερα ποσοστά στην χαμηλής πυκνότητας μικρο-αρχιτεκτονική οστού στους δείκτες BV1 (volume of low-density bone-όγκος οστού χαμηλής πυκνότητας) και BV1/TV(percentage of tissue volume -ποσοστό όγκου ιστού) από την ομάδα ελέγχου. Την 6^η εβδομάδα ,η ομάδα του LIPUS-30 είχε υψηλότερο BV1 και BV1/TV συγκριτικά με την LIPUS-150. Η τελευταία δεν παρουσίασε ιδιαίτερη διαφορά στους ίδιους δείκτες όταν συγκρίθηκε με την ομάδα ελέγχου. Η ιστολογική ανάλυση έδειξε πως η LIPUS-30 είχε τους περισσότερους χονδρώδεις ιστούς της να έχουν αντικατασταθεί από οστίτη ιστό την 4^η εβδομάδα και σε μεγαλύτερα ποσοστά την 6^η εβδομάδα. Τόσο η LIPUS-150 όσο και η ομάδα ελέγχου την 4^η εβδομάδα είχαν μεγάλες περιοχές του κατάγματος καλυμμένες από χόνδρινο ιστό ,γεγονός που συμβαίνει όταν υπάρχει ενεργή έντονη ενδοχόνδρινη οστεοποίηση. Την 6^η εβδομάδα, η ομάδα ελέγχου είχε ακόμη μεγάλες ποσότητες χόνδρινων ιστών ενώ στην LIPUS-150, η πλειονότητα των ιστών αυτών είχε αντικατασταθεί από οστεώδεις ιστούς .Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ότι η LIPUS-30 είχε υψηλότερο ποσοστό ινώδους περιοχής την 4^η εβδομάδα από τις 2 άλλες ομάδες ,ενώ μεταξύ του LIPUS-150 και της ομάδας ελέγχου δεν υπήρξε διαφορά. Τέλος, τα κατάγματα στην LIPUS-30 δεν είχαν ανακάμψει πλήρως όσον αφορά στις μηχανικές τους ιδιότητες την 6^η εβδομάδα (ενδεικτικά σε 8 εβδομάδες επέρχεται πλήρης ίαση του κατάγματος), ενώ συγκριτικά με τα υγιή μηριαία ήταν στο 61% και 52% της δομικής ροπής αποτυχίας και στροφικής αντοχής αντίστοιχα. Ωστόσο, η LIPUS-30 ήταν η ομάδα με την υψηλότερη στροφική αντοχή και με σημαντική διαφορά μάλιστα συγκριτικά με την LIPUS-150 την 6^η εβδομάδα. Η LIPUS 30 επίσης την ίδια εβδομάδα είχε σημαντικά υψηλότερη δομική

ροπή αποτυχίας από τις άλλες 2 ομάδες. Καταλήγοντας, η αυξημένη ένταση του LIPUS στα 150 mW/cm² δεν παρουσίασε θετική επίδραση στην οστική επισκευή. Αντιθέτως, στα 30 mW/cm² η αποτελεσματικότητα του είναι εμφανής, αν και χρειάζονται περαιτέρω ερευνητικές μελέτες για να προσδιοριστεί το κατώφλι στην ένταση του LIPUS ώστε να συνεχίσει να είναι αποτελεσματικός στην επισκευή καταγμάτων (Fung *et al.*, 2012).

- Στη μελέτη τους οι Ronald J. Midura Michael O. Ibiwoye Kimerly A. Powell , Yoshitada Sakai , Todd Doehring , Mark D. Grabiner Thomas E. Patterson ' , Maciej Zborowski και Alan Wolfman διερεύνησαν το κατά πόσο τα PEMF βοηθούν και επιταχύνουν την οστική ανάπλαση. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τυποποιημένες διμερείς ινώδεις οστεοτομίες, παρέχοντας έτσι ένα άκρο ελέγχου που υποβλήθηκε σε θεραπεία με ψευδή μέσα σε κάθε ζώο. Επίσης, πραγματοποιήθηκε *in vivo* μικρο-CT απεικόνιση έτσι ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι δυναμικές αλλαγές. Τέλος, η θεραπεία PEMF ξεκίνησε σχετικά σύντομα μετά την χειρουργική επέμβαση οστεοτομίας και διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα των διακριτών θεραπειών κυματομορφής PEMF στην θεραπευτική απόκριση του ίδιου τύπου οστικού τραύματος. Στην έρευνα έλαβαν μέρος 15 ενήλικοι αρσενικοί αρουραίοι Sprague Dawley βάρους 500-600gr. Από τους 15 αρουραίους οι 8 ανατέθηκαν σε Physio-stim@ και 7 σε Osteo-stim@. Στους αρουραίους πραγματοποιήθηκε μια μηριαία οστεοτομία 0,2mm ενώ παράλληλα δόθηκε προσοχή στην αποφυγή βλάβης των περίξ μαλακών μορίων. Επιπλέον, επιτράπηκε κάθε είδους δραστηριότητα, εξετάζονταν καθημερινά και ζυγίζονταν 2 φορές την εβδομάδα. Μόνο δύο από αυτούς εμφάνισαν απώλεια βάρους καθώς οι υπόλοιποι ήταν στα ίδια επίπεδα όπως και προ-χειρουργικά. Η πρόοδος της επούλωσης οστών *in vivo* αξιολογήθηκε 2 φορές την εβδομάδα. Κατά τη λήξη της θεραπείας οι αρουραίοι θανατώθηκαν με ευθανασία με περίσσεια διοξειδίου του άνθρακα και οι κνήμες και οι περόνες απομακρύνθηκαν ως μονάδα και απογυμνώθηκαν από μαλακούς ιστούς. Και οι δύο θεραπείες ξεκίνησαν 5 μέρες μετά τη χειρουργική επέμβαση για 3 ώρες ημερησίως σε καθημερινή βάση. Η Physio-stim@ (8 αρουραίοι) εφαρμόστηκε 3 εβδομάδες σε 4 αρουραίους και 5 εβδομάδες σε άλλους 4 με διαφορετικές ρυθμίσεις εκπομπής πεδίων. Η έκθεση έγινε με κυματομορφή PEMF που τροφοδοτείται από μια πηγή ισχύος συνεχούς ρεύματος 9V, τριγωνικού παλμού με συχνότητα 3,8kHz, διάρκεια 5,56ms, περίοδο ενεργοποίησης 67ms και πλάτος περίπου 2mT. Η Osteo-stim@ εφαρμόστηκε για 5 εβδομάδες σε 7 αρουραίους. Για τη θεραπεία αυτή χρησιμοποιήθηκε ισχύς συνεχούς ρεύματος 12,5 V, τριγωνικού τύπου με συχνότητα

παλμού 63 kHz, διάρκεια έκρηξης 16 μ s και περίοδο ενεργοποίησης έκρηξης 670 ms. Το μέγιστο πλάτος ήταν περίπου 0,02 mT. Για να προσδιοριστεί η ποσότητα του τύλου που σχηματίστηκε ως συνάρτηση του χρόνου επούλωσης χρησιμοποιήθηκε μια in vivo μικρο-CT απεικόνιση. Αν και έως τις 9 μέρες δεν υπήρχαν διαφορές στις δύο ομάδες τις επόμενες 13-20 μέρες υπήρξε διψήφια διαφορά στον σχηματισμό σκληρού οστού στην ομάδα του PEMF και σε άλλους δείκτες όπως και μεγάλη διαφορά ανάμεσα στους 2 διαφορετικούς τρόπους εφαρμογής PEMF. Τα αποτελέσματα δείχνουν περίπου μεσαία τμήματα ιστολογίας οστικού ιστού PEMF - και ινομώματα εντός περιοχής 4 mm γύρω από τις αρχικές θέσεις οστεοτομίας 5 εβδομάδες μετά τη χειρουργική επέμβαση. Με εξαίρεση τον αρουραίο αριθμού 4, οι επεξεργασμένες με PEMF ινώδεις ίνες εμφάνισαν αισθητά καλύτερες φλοιώδεις ευθυγραμμίσεις, καλύτερη παγίωση του νεοσχηματισμένου σπογγώδους οστικού κάλου και καλύτερη πλήρωση του αρχικού χάσματος οστεοτομίας με νέο οστικό ιστό από ό, τι οι αντίστοιχες θωρακισμένες ινώδεις. Αυτά τα συνολικά ευρήματα δεν παρατηρήθηκαν για κανένα από τα ινίδια που υποβλήθηκαν σε θεραπεία για 5 εβδομάδες με OsteoStim@ PEMF. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι σημαντικά επειδή υποστηρίζουν την υπόθεση ότι συγκεκριμένες θεραπείες PEMF μπορούν να αυξήσουν και να επιταχύνουν την επούλωση οξείας οστικής βλάβης σε ένα ζωικό μοντέλο. Η προαναφερθείσα υπόθεση δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας δύο κυματομορφές PEMF διακριτών φασματικών χαρακτηριστικών. Τα συνδυασμένα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι το Physio-Stim@, αλλά όχι το Osteo-stim@, βελτίωσε ουσιαστικά τη διαδικασία επούλωσης των ινωδών οστεοτομιών. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η θεραπεία με PEMF επιτάχυνε την επούλωση του οστικού τραύματος. Με βάση τις ιστολογικά ευρήματα, η αύξηση της μηχανικής αντοχής σε θεραπευμένα με PEMF οστά μπορεί να επιτευχθεί στο τέλος των 5 εβδομάδων μια καλύτερη ευθυγράμμιση φλοιού, καλύτερη ενοποίηση του νεοσύστατου σπογγώδους οστού στον προϋπάρχον φλοιώδη ιστό και μια καλύτερη συμπλήρωση του αρχικού χάσματος οστεοτομίας. Αυτά τα ίδια ευρήματα δεν παρατηρήθηκαν όταν το OsteoStim@ αντικαταστάθηκε από το Physio-Stim@. Όλα τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι οι θεραπείες Osteo-Stim@ δεν ενίσχυσαν τις θεραπευτικές αποκρίσεις του διαφυσιακού οστού. Συμπεραίνουμε από αυτά τα ευρήματα ότι είναι υπαρκτή η επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην επιτάχυνση της οστικής ανάπλασης, αρκεί να έχουν το σωστό πρωτόκολλο και ρυθμίσεις εφαρμογής (Midura *et al.*, 2005).

- Στη μελέτη τους οι Douglas C. Fredericks, Emily B. Petersen, Madison Rhodes, Grace A. Larew, και James V. Nepola το 2019 σύγκριναν την αποτελεσματικότητα μεταξύ του PEMF και του CMF (Combined Magnetic Field- συνδυασμένο μαγνητικό πεδίο). Η βιβλιογραφία είναι μη επαρκής όσον αφορά τη δοσολογία για τη βέλτιστη διάρκεια εφαρμογής. Συνήθως προβλέπεται από τον κατασκευαστή. Υπάρχουν 3 διαφορετικές ηλεκτρομαγνητικές συσκευές για την θεραπεία κατάγμάτων με εύρος από 30 λεπτά έως 10 ώρες ημερησίως. Αναφέρεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια εφαρμογής των PEMF σε μη πωρωμένα κατάγματα τόσο μειώνεται ο διάμεσος χρόνος για την επούλωση. Δηλαδή όταν μια συσκευή PEMF χρησιμοποιείται για παράδειγμα λιγότερο από 3 ώρες την ημέρα είναι λιγότερο αποδοτική (35,7%) από μία άλλη που χρησιμοποιείται για περισσότερες ώρες (80%). Ωστόσο, δεν υπάρχουν παρόμοιες αναφορές για το CMF. Στην έρευνα έλαβαν μέρος 97 αρσενικά λευκά κουνέλια Νέας Ζηλανδίας βάρους 3-4 κιλών. Τα κουνέλια αυτά υποβλήθηκαν σε κνημιαίες εγκάρσιες οστεοτομίες 1mm (1 χιλιοστού) στην αριστερή κνήμη. Το περίσσειο διατηρήθηκε και η οστεοτομία σταθεροποιήθηκε με εξωτερικό σταθεροποιητή. Εκτέθηκαν σε σήμα PEMF και CMF για 30λεπτά, 3 ώρες και 6 ώρες ημερησίως. Οι θεραπείες ξεκίνησαν ακριβώς μία ημέρα μετά τον τραυματισμό και συνεχίστηκαν για 14 ή 21 ημέρες ανάλογα την θανάτωσή τους. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι: PEMF: 4.5ms, 20 παλμοί στα 15 Hz, ένταση έως 1,6mT και CMF: 2 μαγνητικά πεδία: α) ημιτονοειδές (76.6Hz, έως 40mT) και β) στατικό (20mT). Στο διάστημα των 14 και 21 ημερών διενεργήθηκαν βιομηχανικές εξετάσεις των κνημών. Και τα δύο σήματα (PEMF και CMF) προσαρτήθηκαν σε κατακόρυφη θέση και επικεντρώθηκαν πάνω στη θέση της οστεοτομίας. Σύμφωνα με τις ραδιογραφικές μελέτες, σε εβδομαδιαία βάση γινόταν λήψη πρόσθιων και πλευρικών ακτινογραφιών για να αξιολογηθεί η παρουσία κάλων και να γίνει εκτίμηση της σταθερότητας. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με ψηφιοποιημένες εικόνες ακτίνων X. Ο λόγος του περιεπιπέδου προς το διαφυσιικό οστό εκφράζει την περιοχή μεταξύ δύο εσωτερικών βιδών στερέωσης τόσο πλευρικά όσο και πρόσθια. Κατά την βιομηχανική εξέταση, οι οστεοτομίες καθαρίστηκαν από μαλακούς ιστούς δρομολογήθηκαν για μηχανικές δοκιμές σε μια μονοαξονική μηχανή δοκιμών MTS 810. Το εγγύς άκρο ήταν σταθεροποιημένο στη συσκευή και εφαρμόστηκε ροπή στο απομακρυσμένο άκρο με ρυθμό 1,76 μοίρες ανά δευτερόλεπτο έως ότου πραγματοποιηθεί αποτυχία. Καταγράφηκαν τα δεδομένα ροπής έναντι γωνιακής παραμόρφωσης. Παρατηρήθηκαν 4 βιομηχανικά στάδια επιδιόρθωσης σε κάθε κνήμη:

1. Αποτυχία μέσω αρχικής θέσης θραύσης με χαμηλή ακαμψία
2. Αποτυχία μέσω αρχικής θέσης θραύσης με υψηλή ακαμψία
3. Αποτυχία εν μέρει μέσω αρχικής θέσης θραύσης και εν μέρει μέσω άθικτου οστού με υψηλή ακαμψία
4. Αποτυχία εξ ολοκλήρου μέσω άθικτου οστού με υψηλή ακαμψία.

Οι οστεοτομίες που υποβλήθηκαν σε εξάωρη θεραπεία τόσο με PEMF όσο και με CMF ήταν σημαντικά ισχυρότερες από αυτές που υποβλήθηκαν σε 30λεπτη θεραπεία την ημέρα. Παρόλα αυτά αναφορικά μόνο με την PEMF η αποτελεσματικότητα της εξάωρη θεραπείας έναντι της 3ωρης είναι εμφανώς μεγαλύτερη. Αξίζει να σημειωθεί πως αναφέρεται δυσκαμψία στις ομάδες των 3 και 6 ωρών για διάστημα 14 ημερών καθώς και στην ομάδα των 6 ωρών για διάστημα 21 ημερών. Στις 21 ημέρες παρατηρήθηκε ότι είτε με θεραπεία PEMF είτε με CMF επετεύχθη στρεπτική δυσκαμψία που παρομοιάζεται με το υγιές άθικτο οστό. Σύμφωνα με τα ραδιογραφικά στοιχεία, δεν υπήρχαν αξιοσημείωτες διαφορές στις μέσες περιστικές περιοχές κάλων μεταξύ των CMF και των PEMF κάτω από οποιαδήποτε από τις πειραματικές συνθήκες. Συμπερασματικά, και τα δύο είδη θεραπείας διεγείρουν μεγάλη βιομηχανική αντοχή όταν χρησιμοποιούνται για διάστημα 6 ωρών παρά όταν χρησιμοποιούνται για 30' ή 3 ώρες. Η μέση βιομηχανική αντοχή ήταν περίπου η ίδια και στα δύο σήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση σε PEMF ή CMF τόσο παρέχεται βέλτιστο θεραπευτικό αποτέλεσμα για την οστική ανάπλαση (Fredericks *et al.*, 2019).

- Στην μελέτη τους οι Abdus Sattar Syed, M.S. Islam, K.S. Rabbani και M.S. Talukder διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα του PEMF χαμηλής έντασης στην οστική επισκευή. Οι επιλεγέντες ασθενείς παρουσίαζαν καθυστερημένη επούλωση ή μη ένωση σε ένα μακρύ οστό και αντιμετωπίστηκαν ως εσωτερικοί ασθενείς σε ένα κέντρο αποκατάστασης στο Μπαγκλαντές. Καθυστερημένη ονομάστηκε η πόρωση εξαιτίας των θραυσμάτων που κινούνταν ελεύθερα 3 μήνες μετά τον τραυματισμό ή αν δεν υπήρχε πρόοδος στην ένωση πριν την έναρξη της θεραπείας. Στην έρευνα αρχικά έλαβαν μέρος 18 ασθενείς μεταξύ των οποίων 5 από αυτούς αποχώρησαν οικειοθελώς και 1 απεβίωσε έπειτα από χειρουργικές επιπλοκές που δεν σχετίζονται με τη μελέτη. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν κλινική δοκιμή στους υπόλοιπους 12 ασθενείς ηλικίας 9 έως 90 ετών με μέσο όρο την ηλικία τα 31 έτη. Για την διενέργεια της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ένα ζεύγος κυκλικών συνδεδεμένων πηνίων με πυρήνα αέρα (εσωτερική διάμετρο 8cm, 1000 στροφές σμαλτωμένο σύρμα χαλκού) που δέχονται

τροφοδοσία από έναν διεγέρτη με μεταβλητό ύψος παλμού. Ο παλμός ηλεκτρικής τάσης έχει πλάτος 0,3msec κάθε 12msec με συχνότητα περίπου 80Hz. Στην παρούσα μελέτη η τάση παλμού μεταβλήθηκε σε μέγεθος για να ληφθεί μαγνητικό πεδίο κορυφής σε ένα εύρος 0,01 έως 0,1mTesla κατά προσέγγιση. Τα κατάγματα ακινητοποιήθηκαν με γύψο στην περίπτωση των κνημών και με νάρθηκα ισχίου όταν επρόκειτο για θραύση μηριαίου οστού. Η ηλεκτρομαγνητική διέγερση εφαρμόστηκε για 9-12 ώρες ημερησίως ενώ ήταν τοποθετημένα ένα ζεύγος πηνίων σε κάθε πλευρά του κατάγματος. Κατά τη διάρκεια της θεραπείας σε όλους τους ασθενείς χορηγήθηκαν πολυβιταμίνες σε καθημερινή βάση. Η θεραπεία διακόπηκε όταν το σημείο του κατάγματος απέκτησε σταθερότητα και τα αποτελέσματα των ακτινογραφιών επέτρεπαν τη διακοπή. Σε αυτούς τους ασθενείς απαγορεύτηκε η επίδραση βάρους και δόθηκε η εντολή φόρτισης του μέλους κάτω από τα όρια του πόνου. Μετά το πέρας των 6 εβδομάδων πραγματοποιήθηκαν ακτινογραφικές εξετάσεις. Η ύπαρξη φλοιώδους ιστού στο σημείο θραύσης σηματοδοτούσε την αφαίρεση του γύψου και την σταδιακή άσκηση βαρύτητας πάντα στα όρια του πόνου με τη χρήση βακτηριών. Επιτυχημένη θεωρήθηκε μια ένωση η οποία παρουσίαζε τα παρακάτω στοιχεία: α) ακτινογραφικές ενδείξεις γεφύρωσης οστού β) κλινική σταθερότητα και απουσία ευαισθησίας γ) απουσία πόνου όταν υποβάλλονται σε πίεση δ) ικανότητα ανύψωσης του ποδιού όταν βρίσκεται σε ύπτια θέση (όταν πρόκειται για κάταγμα στο κάτω άκρο). Η περίοδος θεραπείας για τις επιτυχημένες ενώσεις κυμαινόταν μεταξύ 4 και 27 εβδομάδων με το μέσο όρο να εντοπίζεται στις 14 εβδομάδες. Με βάση τις ακτινογραφικές εξετάσεις, παρατηρήθηκαν κενά μεγαλύτερα του 1cm. Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί πως παρατηρήθηκαν ευεργετικές παρενέργειες οι οποίες είναι: ποιοτική αύξηση επιθηλιοποίησης χρόνιων πληγών και μείωση του πόνου και της δυσφορίας. Ο μηχανισμός δράσης της παλμικής ηλεκτρομαγνητικής διέγερσης στην επούλωση οστών παραμένει άγνωστος. Η ηλικία φάνηκε να μην επηρεάζει την επούλωση λόγω του γεγονότος πως σε ένα παιδί 9 ετών η επούλωση δεν ήταν πετυχημένη ενώ σε έναν ασθενή 90 ετών σημειώθηκε επιτυχία. Ο κυριότερος λόγος αποτυχίας ένωσης αποτελείτο κενό 1cm ανάμεσα στις καταγματικές επιφάνειες που αναφέρθηκε νωρίτερα. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση ενός παιδιού το οποίο θεραπεύτηκε σε διάστημα 4 εβδομάδων ενώ είχε τραυματιστεί 107 εβδομάδες πριν. Σε 14 εβδομάδες 10 στους 12 ασθενείς είχαν επιτυχημένη πόρωση (83% επιτυχία). Παρόλα αυτά κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθούν επιπλέον έρευνες με στενά καθορισμένα όρια καθώς επίσης στις έρευνες αυτές να συμπεριληφθούν ζώα έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν μειωμένος ο ψυχολογικός παράγοντας (Rabbani *et al.*, 1999).

- Στη μελέτη τους οι M. Zimmerman, J. R. Parsons, H. Alexander και A. B. Weiss διερεύνησαν εάν επηρεάζεται η ικανότητα ανάπτυξης του οστού όταν εφαρμόζεται ηλεκτρική διέγερση. Στην έρευνα έλαβαν μέρος 3 ομάδες κουνελιών (3,5-5 kg) για τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά τρέχοντα δεδομένα. Για την πραγματοποίηση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε μια μικρή, στέρα συσκευή με μπαταρία με κάθοδο άνθρακα και άνοδο από ανοξείδωτο χάλυβα. Το κύκλωμα αποτελείται από μια μπαταρία 7V, δύο τρανζίστορ πεδίου-αποτελέσματος, ένα μεταβλητό δοχείο περιποίησης και έναν αριθμό αντιστάσεων. Η άνοδος ήταν ένα τεμάχιο 1cm² από πλέγμα ανοξείδωτου χάλυβα 316L. Η κάθοδος αποτελείται από μια νηματοειδή δέσμη 6000 ινών άνθρακα με κάθε ίνα να έχει διάμετρο 7μm (διάμετρος δέσμης 1,0mm). Στο κύκλωμα χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτος χάλυβας εξαλείφοντας έτσι την πιθανότητα αντίδρασης μισού κυττάρου με το σύρμα μόλυβδου και την πτύχωση από ανοξείδωτο χάλυβα. Προκειμένου να περάσει ο άνθρακας μέσω του μυελικού σωλήνα του κουνελιού προσαρτήθηκε ένα σύρμα από ανοξείδωτο χάλυβα (διαμέτρου 0.75 mm) στο ελεύθερο άκρο του ηλεκτροδίου άνθρακα. Το σύρμα αυτό αφαιρείται μετά την εμφύτευση. Κατασκευάστηκαν επίσης κάθοδοι ελέγχου για αυτό το πείραμα οι οποίοι ήταν ίδιοι με τις ενεργές καθόδους (εκτός από την απουσία μόλυβδου) αλλά δεν συνδέονται με καμία πηγή ρεύματος. Το εμφύτευμα ήταν αέριο, αποστειρωμένο με οξείδιο του αιθυλενίου όπως ήταν οι κάθοδοι ελέγχου. Κάθε ομάδα περιλάμβανε 4 κουνέλια και καθένα από αυτά που υπήρχαν σε μια δεδομένη ομάδα είχε μία ενεργή κάθοδο σε μία κνήμη. Σε καθεμιά από τις 3 ομάδες υπήρχε ένα κουνέλι που εκτός από την ενεργή κάθοδο είχε μία επιπλέον ετερόπλευρη κάθοδο ελέγχου. Τα επίπεδα σε αυτές τις 3 ομάδες ήταν 1,5 και 20 μΑ αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε ότι υπήρξε πολύ μικρή ανάπτυξη οστού σε τρέχοντα επίπεδα μικρότερα από 1μΑ όταν χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτος χάλυβας. Υπογράμμισαν επίσης την παρουσία οστεονέκρωσης στα επίπεδα 50 και 100μΑ. Τα κουνέλια ξυρίστηκαν, υποβλήθηκαν σε αναισθησία και καλύφθηκαν. Η πρώτη τομή έγινε πάνω από το επίπεδο της λεκάνης στη ράχη και η δεύτερη στη μεσαία πλευρά του γόνατος χρησιμοποιώντας τον επιγονατιδικό τένοντα ως σημείο αναφοράς. Πραγματοποιήθηκε μία ένωση μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης τομής με προσεκτικό εξαναγκασμό ενός αιμοστάτη μεταξύ του δέρματος και της περιτονίας. Στην πρώτη τομή τοποθετήθηκε τόσο η μπαταρία όσο και η άνοδος του κυκλώματος κάτω από το δέρμα. Η κάθοδος του σύρματος τροφοδοτήθηκε μέσω της ένωσης ώστε να εξέρχεται από το γόνατο. Η πρώτη τομή του δέρματος έκλεισε στη

συνέχεια. Οι οπές τρυπήθηκαν στα εγγύς μεσαία και απομακρυσμένα πλευρικά τμήματα της κνήμης. Ένα ζώο από κάθε ομάδα έλαβε έναν αντίπλευρο έλεγχο δηλαδή εμφυτεύθηκε άνθρακας στην κνήμη χωρίς σύνδεση με κανένα διεγέρτη. Στις 21 ημέρες τα ζώα θανατώθηκαν. Αφαιρέθηκαν οι διεγέρτες και δοκιμάστηκαν ξανά σε μια σειρά αντιστάσεων. Εάν οι τιμές μετεμφύτευσης ήταν εντός του 5% των προηγούμενων τιμών, θεωρήθηκε επιτυχής η συσκευασία και το κουνέλι έγινε αποδεκτό για ανάλυση. Δεκατρία ζώα έγιναν δεκτά ενώ δέκα απορρίφθηκαν για διάφορους λόγους. Η ποσοτική ανάλυση έδειξε ότι ο ινώδης ιστός κατέλαβε το 12,5% του καναλιού. Σε όλες τις περιπτώσεις δεν υπήρχε κανένα σημάδι μόλυνσης. Η διέγερση στο επίπεδο 1 παρήγαγε ινώδη ιστό που καταλαμβάνει το 31,4% του μυελικού σωλήνα και του οστού που καταλαμβάνει το 13%. Καθώς το ρεύμα αυξήθηκε, η ποσότητα του ινώδους ιστού αυξήθηκε ενώ η ποσότητα του οστικού ιστού μειώθηκε. Οι ίνες άνθρακα αποδείχθηκε ότι είναι ένα αποτελεσματικό υλικό ηλεκτροδίου για τη διέγερση τόσο του οστού όσο και του μαλακού ιστού στο μυελικό κανάλι της κνήμης του κουνελιού. Συμπερασματικά, η μεγαλύτερη οστεοβλαστική δραστηριότητα συναντάται στην ομάδα του 1mA ενώ η παραγωγή ινώδους ιστού μεγιστοποιείται στα 20mA. Ένα ενδιάμεσο ρεύμα παρήγαγε ένα αναλογικό μίγμα (Zimmerman *et al.*, 1984).

- Σκοπός στην έρευνα των Carla Christina Medalha, Ph.D., Beatriz Oliveira Amorim, Jessica Mayra Ferreira, Poliane Oliveira, Rosa Maria Rodrigues Pereira, Ph.D., Carla Tim, Ana Paula Lirani-Galva~o, Ph.D., Orivaldo Lopes da Silva, Ph.D., και Ana Claudia Muniz Renno, Ph.D. το 2010 ήταν να διερευνηθεί η επίδραση των LLLT και ES (Electrical Stimulation) στην οστική απώλεια σε αρουραίους που έχουν τραυματιστεί στο νωτιαίο μυελό. Ο τραυματισμός του νωτιαίου μυελού (SCI-Spinal Cord Injury) ευθύνεται για αρκετές φυσιολογικές μεταβολές ανάμεσα στις οποίες συμπεριλαμβάνεται μια σημαντική μείωση της οστικής πυκνότητας BMD. Στη μελέτη έλαβαν μέρος 37 αρσενικοί αρουραίοι Wistar ηλικίας 8 εβδομάδων. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της επιτροπής φροντίδας και χρήσης ζώων του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του Σάο Πάολο. Οι αρουραίοι τέθηκαν τυχαιοποιημένα στις ακόλουθες 4 ομάδες:
 - 1) Τυπική ομάδα ελέγχου (CG-Control Group, n=7 αρουραίοι)
 - 2) Ομάδα ελέγχου με τραυματισμό νωτιαίου μυελού (SC- Spinal cord-injured Control, n=10)
 - 3) Ομάδα με τραυματισμένο νωτιαίο μυελό σε συνδυασμό με θεραπεία LASER (SCL-

Spinal cord-injured LASER, $n=10$)

- 4) Ομάδα με τραυματισμένο νωτιαίο μυελό σε συνδυασμό με θεραπευτική αγωγή διέγερσης ηλεκτρικού πεδίου (SCE- Spinal cord-injured electrical field, $n=10$)

Οι αρουραίοι υπέστησαν αναισθησία. Πραγματοποιήθηκε λαμινοεκτομή και όσοι από αυτούς ήταν τραυματισμένοι υποβλήθηκαν σε πλήρη τεμαχισμό του νωτιαίου μυελού ενώ σε κάποιους άλλους εκτελέστηκε η ίδια λαμινοεκτομή χωρίς τεμαχισμό του νωτιαίου μυελού. Η θερμοκρασία σώματος διατηρήθηκε σταθερή και εκκενώθηκε η ουροδόχος κύστη. Επίσης πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της κινητικής λειτουργίας με την κλίμακα BBB η οποία είχε έναρξη 24 ώρες μετά τη χειρουργική επέμβαση και εκτελέστηκε μία φορά την εβδομάδα. Κατά την αξιολόγηση κάθε αρουραίος τοποθετήθηκε σε ένα ανάγλυφο πλαστικό δάπεδο όπου παρατηρήθηκε η ανάκτηση συμπεριφοράς του και καταγράφηκε για 4 λεπτά από δύο παρατηρητές που εργάζονταν ταυτόχρονα αλλά ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Η κλίμακα αυτή βασίζεται σε ένα σύστημα 21 σημείων. Οι θεραπείες ξεκίνησαν μετά το τέλος του χειρουργείου και διενεργήθηκαν 3 φορές την εβδομάδα για ένα συνολικό διάστημα 4 εβδομάδων. Για την ομάδα 3 που χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία με LASER τέθηκαν οι εξής παράμετροι: GaAlAs, 830nm, CW, 30mW/cm, 250J/cm². Η ακτινοβολία έγινε τόσο στο μηριαίο όσο και στις κνήμες. Όσον αφορά την ομάδα 4 στην οποία έγινε χρήση διέγερσης ηλεκτρικού πεδίου αξίζει να αναφερθεί πως 26 μεταλλικά ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν στο πάνω και κάτω μέρος του κλωβού ώστε όλο το σώμα των αρουραίων να υποβληθεί σε ηλεκτρικό πεδίο χαμηλής έντασης μέσω πυκνωμένης σύζευξης. Οι παράμετροι για την παραπάνω διέγερση ήταν οι εξής: 1,5MHz, κύκλος λειτουργίας 1:4, 30mW για 20 λεπτά. Μετά από 30 μέρες όλοι οι αρουραίοι θανατώθηκαν. Με βάση την κλίμακα BBB προκλήθηκε σοβαρή υποβάθμιση της συμπεριφορικής απόδοσης. Η στατιστική ανάλυση φανέρωσε πως το μέγιστο φορτίο CG, η απορρόφηση ενέργειας και η δομική ακαμψία ήταν υψηλότερες από τις τιμές που βρέθηκαν στις άλλες ομάδες. Όσον αφορά την οστική πυκνότητα, η υψηλότερη τιμή BMD παρουσιάζεται στην ομάδα CG. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής απέδειξαν ότι οι δύο θεραπείες προκάλεσαν μια μικρή αύξηση των μορφομετρικών παραμέτρων και κατέληξαν στο ότι το LLLT και το ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να έχουν κάποιες διεγερτικές επιδράσεις στο μεταβολισμό των οστών των αρουραίων, οι οποίοι έδειξαν ιδιαίτερα μεγάλες τιμές εσωτερικής διαμέτρου, εσωτερικών και εξωτερικών περιοχών διάφυσης κνήμης. Ωστόσο δεν ήταν σε θέση να βελτιώσουν την οστική πυκνότητα ενώ αυτό το πειραματικό μοντέλο έδειξε σημαντική μείωση της BMD και των βιομηχανικών ιδιοτήτων (Medalha *et al.*, 2010).

- Στόχο στη μελέτη των Giannunzio, G. A., Speerli, R. C. Και Guglielmotti, M. B το 2008 αποτελεί η αξιολόγηση της επίδρασης ηλεκτρικού πεδίου στην επούλωση τραυμάτων περιλαμβάνοντας την τοποθέτηση ενός μεταλλικού στρωματοειδούς εμφυτεύματος στην κνήμη αρουραίων. Για τους σκοπούς της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν 40 αρσενικοί αρουραίοι Wistar βάρους 100gr και λήφθηκαν υπόψη όλες οι κατευθυντήριες οδηγίες των Εθνικών Ινστιτούτων Υγείας για τη διαχείριση των εργαστηριακών ζώων. Οι αρουραίοι υπέστησαν αναισθησία. Οι κνήμες των ζώων ξυρίστηκαν και πραγματοποιήθηκε τομή 1,5cm στην κνημιαία κορυφή. Ένα επίπεδο εμφύτευμα τιτανίου διαστάσεων 6x1x0,1 mm³ τοποθετήθηκε εσωτερικά στην κνήμη. Τα ζώα χωρίστηκαν σε 4 ομάδες:
 1. Ομάδα ελέγχου
 2. 1,68μΑ/cm², 115Hz, θετική-αρνητική πολικότητα
 3. 2,64μΑ/cm², 650Hz, αρνητική πολικότητα
 4. 2,64μΑ/cm², 650Hz, θετική πολικότητα

Η έκθεση των ζώων ήταν διάρκειας 20 λεπτών για συνολικά 6 εφαρμογές οι οποίες γίνονταν κάθε δεύτερη μέρα. Μετά το πέρας των 15 ημερών όλα τα ζώα θανατώθηκαν. Έγινε αξιολόγηση του όγκου οστού περιεμφυτεύματος και του ποσοστού οστεοενσωμάτωσης. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ANOVA (ανάλυση διακύμανσης ή ανάλυση διασποράς). Κανένα από τα ζώα δεν έδειξε αλλοιώσεις στο σωματικό βάρος, τη συμπεριφορά ή τη γενική υγεία. Η μακροσκοπική εξέταση επιβεβαίωσε την ικανοποιητική επούλωση των μαλακών ιστών σε όλα τα ζώα. Η μικροσκοπική παρατήρηση έδειξε ελασματοειδή οστικό ιστό σε επαφή με την επιφάνεια του εμφυτεύματος σε ζώα που έχουν υποστεί επεξεργασία (ομάδα 1). Ζώα της ομάδας 2 (θετικά– αρνητική πολικότητα) παρουσίασε ινώδη οστικό ιστό που περιβάλλει το εμφύτευμα. Και οι δύο ομάδες 3 (αρνητική πολικότητα) και 4 (θετική πολικότητα) παρουσίασαν ελασματοειδές οστό, ιστός εν μέρει σε επαφή με το εμφύτευμα (οστεοενσωμάτωση). Η στατιστική ανάλυση των ιστομορφομετρικών αποτελεσμάτων έδειξε σημαντική διαφορά στο ποσοστό της οστεοενσωμάτωσης κατά τη σύγκριση της ομάδας 1 (μέση τιμή, 66,7%) και της ομάδας 2 (μέση τιμή, 11,3%) και των ομάδων 1 και 3 (μέση τιμή, 52,6%) ενώ δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ της ομάδας 1 και 4 (μέση τιμή, 58,12%). Η εφαρμογή εξωτερικών θετικών ή αρνητικών ηλεκτρικών πεδίων χρησιμοποιώντας το πειραματικό μοντέλο (επούλωση οστού μετά

από τιτάνιο σε κνήμη αρουραίου) και υπό τις συνθήκες που αναφέρονται στην παρούσα μελέτη, βρέθηκε ότι ενισχύει τον όγκο των οστών του περιεμφυτεύματος. Η χρήση μιας συσκευής που παράγει ένα θετικό ή αρνητικό ηλεκτρικό πεδίο είχε ως αποτέλεσμα την παρουσία ινώδους οστού. Τα αποτελέσματα δείχνουν σαφώς ότι η χρήση ηλεκτρικών πεδίων με θετική ή αρνητική πολικότητα καθυστερεί την επούλωση των οστών. Αντίθετα βρέθηκε ότι με θετική ή αρνητική πολικότητα αυξάνεται ο όγκος των οστών περιεμφυτεύματος. Επομένως, η ηλεκτρική διέγερση είναι αποτελεσματική στην οστική ανάπλαση, αρκεί να εφαρμόζεται με τις κατάλληλες ρυθμίσεις (Giannunzio *et al.*, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της ηχητικής, φωτεινής και ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στην αποκατάσταση καταγμάτων οστών. Παλαιότερες έρευνες αναφέρουν ευεργετική επίδραση των προαναφερόμενων φυσικών μέσων χωρίς όμως να υπάρχουν επαρκείς ενδείξεις οι οποίες να καθιστούν επιβεβαιωμένο τον ισχυρισμό αυτό λόγω απουσίας των μέσων εκείνων που εξυπηρετούν τους σκοπούς της εκάστοτε έρευνας. Τα τελευταία χρόνια, σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν κυρίως σε ζώα, σημειώθηκαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα που ανταποκρίνονται στην οστική ανάπλαση μέσω της χρήσης των υπερήχων, του LASER, της ηλεκτρικής και ηλεκτρομαγνητικής διέγερσης των κυττάρων.

Αναφορικά με το LASER, ένα μεγάλο μέρος των διαθέσιμων ερευνών σχετίζεται με τα αποτελέσματα που απορρέουν από τη χρήση χαμηλών επιπέδων LASER τα οποία έδειξαν πως σε ένα πρώιμο στάδιο παρατηρείται σημαντική εναπόθεση ινών κολλαγόνου και έπειτα ακολουθεί μια καλά οργανωμένη αύξηση οστικών δοκίδων (Pinheiro *et al.*, 2008). Η αποτελεσματικότητα των LLLT έγκειται και στο γεγονός πως μέσω της εφαρμογής τους σημειώθηκε αύξηση ορισμένων γονιδίων τα οποία διεγείρουν τόσο τον πολλαπλασιασμό όσο και την διαφοροποίηση των οστεοβλαστών σχηματίζοντας τελικά ένα νεοσύστατο οστό (Tim *et al.*, 2015). Αξίζει ωστόσο να σχολιαστεί πως αναφορικά με τη χρήση του LLLT και του LIPUS σε αρουραίους, η ομάδα που εκτέθηκε στη φωτεινή ακτινοβολία μέσω LLLT παρουσίασε ιδιαίτερα έντονη οστική ανάπλαση από τις πρώτες δυο εβδομάδες ενώ ο υπέρηχος φάνηκε ανεπαρκής (Fávaro-Píri *et al.*, 2010).

Παρόλα αυτά, η μεμονωμένη χρήση του υπερήχου ανταποκρίνεται στις αναμενόμενες προσδοκίες, μιας και σε διάστημα 40 ημερών από την έναρξη της θεραπείας παρουσιάζονται ευεργετικές επιδράσεις που ενισχύουν την πόρωση των καταγμάτων (Warden *et al.*, 2006), ενώ σε πολλές περιπτώσεις η δράση του εξαρτάται ακόμα και από την απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στο κάταγμα και το σημείο εφαρμογής του υπερήχου (Fung *et al.*, 2014). Επιπλέον αποδείχθηκε πως η αποτελεσματικότητα του LIPUS υπερτερεί στην ένταση των 30W/cm² έναντι των 150W/cm² κατά τη διάρκεια της 6^{ης} εβδομάδας εφαρμογής του (Fung *et al.*, 2012). Επομένως υπάρχουν πλέον δυνατοί ισχυρισμοί για την αποτελεσματικότητα του υπερήχου στην πόρωση των καταγμάτων. Εντούτοις, πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες που να αποδεικνύουν τη χρησιμότητά του συγκριτικά και με άλλα φυσικά μέσα που παρέχονται μέσω

της επιστήμης της φυσικοθεραπείας.

Ανάμεσα στις έρευνες που μελετήθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας διαπιστώθηκε πως η συμβολή των παλμικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι ζωτικής σημασίας για την επούλωση των καταγμάτων των οστών με την προϋπόθεση ότι εφαρμόζονται με τις σωστές ρυθμίσεις και το κατάλληλο πρωτόκολλο (Midura *et al.*, 2005). Απαραίτητη κρίνεται επίσης η κατανόηση του χρονικού διαστήματος που εφαρμόζεται η θεραπεία ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (PEMF) αλλά και των συνδυασμένων μαγνητικών πεδίων (CMF). Αποτελέσματα μιας πρόσφατης έρευνας ανέδειξαν πως το χρονικό αυτό διάστημα στο οποίο επιτυγχάνεται οστική ανάπλαση ανέρχεται στις 3-6 ώρες έπειτα από 14 ημέρες εφαρμογής ενώ στις 21 ημέρες παρουσιάζει σημαντική επίδραση ακόμα και μια εφαρμογή 30 λεπτών. Καταλήγοντας όμως η έρευνα υποδεικνύει τη μέγιστη αποτελεσματικότητα όταν πραγματοποιείται βωρη εφαρμογή τόσο του PEMF όσο και του CMF (Fredericks *et al.*, 2019). Συνεπώς βρέθηκε πως τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και κυρίως εκείνα που εφαρμόζονται σε χαμηλές εντάσεις προάγουν σε αξιόλογο βαθμό την οστική ανακατασκευή συμβάλλοντας στην γεφύρωση των καταγματικών επιφανειών (Rabbani *et al.*, 1999).

Η ηλεκτρική διέγερση των οστών αποτελεί έναν από τους τρόπους με τους οποίους επιταχύνεται η επούλωση μιας και βρέθηκε πως σε χαμηλή ένταση προωθείται ο σχηματισμός νέου οστού ενώ όσο αυξάνεται η ένταση παρουσιάζεται αύξηση του ινώδους ιστού (Zimmerman *et al.*, 1984). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής ηλεκτρικού ρεύματος παρουσιάζονται ελπιδοφόρα (Medalha *et al.*, 2010) καθώς οι επιδράσεις τους είναι ενθαρρυντικές στην επιτάχυνση και βελτίωση του όγκου του οστού (Giannunzio *et al.*, 2008).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τη μελέτη των παραπάνω ερευνών είναι δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια ποιο από τα φυσικά μέσα φαίνεται να αποδεικνύεται περισσότερο ωφέλιμο έναντι των υπολοίπων. Κάθε ένα από τα μέσα αυτά συμβάλλει σε έναν επαρκή βαθμό στην οστική ανάπλαση επιταχύνοντας με αυτό τον τρόπο την πόρωση των καταγμάτων. Ωστόσο δεν πρέπει να αμελείται το γεγονός πως για να υπάρξουν εμφανή αποτελέσματα είναι εξέχουσας σημασίας η ορθή χρήση των μηχανημάτων αυτών όπως και η εφαρμογή πρωτοκόλλων τα οποία είναι κατάλληλα για την περίπτωση του κάθε ασθενούς. Λαμβάνοντας υπόψιν λοιπόν τα αποτελέσματα των ερευνών που μελετήθηκαν καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως στην διαδικασία της οστικής αναγέννησης

και της επούλωσης των καταγμάτων εμφανίζονται λιγότερο βοηθητικά τα ηλεκτρικά πεδία ενώ η χρήση του LASER, του υπερήχου και των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων φαίνεται να επιδρούν θετικά. Παρόλα αυτά, είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν ακόμα έρευνες στις οποίες να παρουσιάζεται η αποτελεσματικότητα καθενός από αυτά τα φυσικά μέσα σε όλα τα διαφορετικά είδη καταγμάτων, καθώς επίσης και η εφαρμογή αυτών των μέσων συνδυαστικά. Επιπρόσθετα, χρήσιμο είναι μελλοντικά να διεξαχθούν έρευνες οι οποίες να υπογραμμίζουν την αποτελεσματικότητα αυτών των μέσων σε κάθε στάδιο της επούλωσης έτσι ώστε να οριστούν οι παράμετροι που χρησιμοποιεί ο φυσικοθεραπευτής σε κάθε περίπτωση. Τέλος, έλλειψη ερευνών υπάρχει στο επίπεδο του ανθρώπινου δυναμικού μιας και οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται σε πειραματόζωα παραλείποντας έτσι συχνά τον ψυχολογικό παράγοντα. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαίο να προγραμματιστούν έρευνες στις οποίες συμμετέχοντες να είναι άνθρωποι ούτως ώστε τα αποτελέσματα να είναι περισσότερο αντικειμενικά και ρεαλιστικά.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία αναζητήθηκαν άρθρα τα οποία παρουσίαζαν την αποτελεσματικότητα τεσσάρων φυσικών μέσων που χρησιμοποιούνται στη φυσικοθεραπεία. Πιο αναλυτικά, αναζητήθηκε η αποδοτικότητα του LASER, των υπερήχων, των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς και της ηλεκτρικής διέγερσης στην αντιμετώπιση καταγμάτων οστών. Από την ανασκόπηση της αρθρογραφίας και της βιβλιογραφίας δεν φάνηκε ένα φυσικό μέσο να υπερτερεί σημαντικά έναντι κάποιου άλλου καθώς και τα τέσσερα συνέβαλαν στην αποκατάσταση των καταγμάτων των οστών. Ωστόσο επιβεβαιώθηκε ο ισχυρισμός πως τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα συνεισφέρουν στην επούλωση των καταγμάτων σε ένα ιδιαίτερα πρώιμο στάδιο αντιμετώπισης ενώ αντίθετα ο υπέρηχος παρουσιάζεται περισσότερο αποδοτικός όταν εφαρμόζεται με τις κατάλληλες ρυθμίσεις και το σωστό πρωτόκολλο σε ένα διάστημα 30 ημερών από την ημέρα που προκλήθηκε η κάκωση. Οι έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αντιπροσωπευτικές για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Παρόλα αυτά θα ήταν αναγκαία η πλαισίωση της αποκατάστασης ενός κατάγματος σε διαφορετικές φάσεις της επούλωσης καθώς επίσης και του κάθε μέσου ξεχωριστά. Με αυτό τον τρόπο ο εκάστοτε φυσικοθεραπευτής να είναι σε θέση να αντιληφθεί με σαφήνεια ποιες παραμέτρους θα πρέπει να χρησιμοποιήσει ώστε να είναι όσο το δυνατόν αποδοτικότερη η επέμβασή του στην κάκωση του ασθενούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Κορρές Δ.Σ., Λυρίτης Γ.Π., Σουκάκος Π.Ν., 2010 *Ορθοπαιδική και Τραυματολογία του Μυοσκελετικού Συστήματος*, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

Moore K.L., Dalley A.F & Agur M.R.A., 2016 *Κλινική Ανατομία*, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

Nanda, B.K., 2018. Ηλεκτροθεραπεία-Βασικές αρχές. Μετάφραση-Επιμέλεια από τα Αγγλικά από Κατσουλάκης, Κ.Δ., Κύπρος: Broken Hill Publishers Ltd, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

Platzer W., Fritsch H., Kóhnel W., Kahle W & Frotscher M., 2011 *Εγχειρίδιο Περιγραφικής Ανατομικής Κινητικό σύστημα Εσωτερικά Όργανα Νευρικό Σύστημα & Αισθητήρια Όργανα*, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

Solomon L., Warwick D. & Nayagam S., 2010 *Σύγχρονη Ορθοπαιδική και Τραυματιολογία Βασική Ορθοπαιδική*, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

Watson, T., 2011. *Ηλεκτροθεραπεία-Τεκμηριωμένη Πρακτική*, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ:

Aubin, J.E., 2001. Regulation of Osteoblast Formation and Function. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders 2*, 81–94. Διαθέσιμο από: <http://doi.org//10.1023/A:1010011209064>

B Cotler, H., Chow R.T., Hamblin M.R., & Carroll J., 2015. The Use of Low Level Laser Therapy (LLLT) For Musculoskeletal Pain. *MOJ Orthopedics & Rheumatology 2*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.15406/mojor.2015.02.00068>

Bhavsar, M.B., Leppik, L., Oliveira K.M.C., & Barker, J.H., 2020. Role of Bioelectricity During Cell Proliferation in Different Cell Types. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.3389/fbioe.2020.00603>

Childs, S.G., 2003. Stimulators of bone healing: Biologic and biomechanical. *Orthopaedic Nursing 22*, 2127. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1097/00006416-200311000-00010>

Daish, C., Blanchard, R., Fox, K., Pivonka, P., & Pirogova, E., 2018. The Application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) for Bone Fracture Repair: Past and Perspective Findings. *Annals of Biomedical Engineering*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1007/s10439-018-1982-1>

Doyle, N.D., 2004. Rehabilitation of fractures in small animals: Maximize outcomes, minimize complications. *Clinical Techniques in Small Animal Practice* 19, 180–191. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1053/j.ctsap.2004.09.010>

Fávaro-Pípi, E., Feitosa, S.M., Ribeiro, D., Bossini, P., Oliveira, P., Parizotto, N., & Renno, A.C.M., 2010. Comparative study of the effects of low-intensity pulsed ultrasound and low-level laser therapy on bone defects in tibias of rats. *Lasers in Medical Science* 25, 727– 732. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1007/s10103-010-0772-2>

Florencio-Silva, R., Sasso, G., Sasso-Cerri, E., Simões, M. & Cerri, P.S., 2015. Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells. *BioMed Research International*. Διαθέσιμο από: <http://doi.org//10.1155/2015/421746>

Fredericks, D.C., Petersen, E.B., Rhodes, M., Larew, G., & Nepola, J.V., 2019. The Effect of Pulsed Electromagnetic Field and Combined Magnetic Field Exposure Time on Healing of a Rabbit Tibial Osteotomy. *The Iowa orthopaedic journal* 39, 20–26.

Fung, C.H., Cheung, W.H., Pounder, N., De Ana, F., Harrison, A., & Leung, K.S., 2012. Effects of Different Therapeutic Ultrasound Intensities on Fracture Healing in Rats. *Ultrasound in Medicine and Biology* 38, 745–752. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2012.01.022>

Fung, C.H., Cheung, W.H., Pounder, N., De Ana, F., Harrison, A., & Leung, K.S., 2014. Investigation of rat bone fracture healing using pulsed 1.5 MHz, 30 mW/cm² burst ultrasound - Axial distance dependency. *Ultrasonics* 54, 850–859. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1016/j.ultras.2013.10.013>

Giannunzio, G.A., Speerli, R.C., & Guglielmotti, M.B., 2008. Electrical field effect on peri-implant osteogenesis: A histologic and histomorphometric study. *Implant Dentistry* 17, 118–126. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1097/ID.0b013e318166d800>

Huang, X., Das, R., Patel, A. & Duc Nguyen, T., 2018. Physical Stimulations for Bone and Cartilage Regeneration. *Regenerative Engineering and Translational Medicine*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1007/s40883-018-0064-0>

Khanna, A., Nelmes, R.T., Gougoulas N., Nicola Maffulli N., & Gray, J., 2009. The effects of LIPUS on soft-tissue healing: A review of literature. *British Medical Bulletin*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1093/bmb/ldn040>

Kiuru, M. J., Pihlajamäki, H. K. & Ahovuo, J. A., 2004. Bone stress injuries. *Acta Radiologica*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1080/02841850410004724>

Lane, J. M., Russell, L., & Khan, S. N., 2000. Osteoporosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 372, 139–150. Διαθέσιμο από: <http://doi.org/10.1097/00003086-200003000-00016>

Leppik, L., Oliveira, K.M. C., Bhavsar, M., & Barker, J.H., 2020. Electrical stimulation in bone tissue engineering treatments. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1007/s00068-020-01324-1>

Markov, M.S., & Colbert, A.P., 2000. Magnetic and electromagnetic field therapy. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.3233/BMR-2000-15103>

Marsell, R. & Einhorn, T.A., 2010. Emerging bone healing therapies. *Journal of Orthopaedic Trauma*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1097/BOT.0b013e3181ca3fab>

Marshall, R. A., Mandell, J. C., Weaver, M. J., Ferrone, M., Sodickson, A., & Khurana, B., 2018. Imaging features and management of stress, atypical and pathologic fractures. *Radiographics* 38, 2173–2192. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1148/rg.2018180073>

Medalha, C.C., Amorim, B.O., Ferreira, J., Oliveira, P., Pereira, R., Tim, C., Lirani-Galvão, A., Da Silva, O., & Renno, A.C. M., 2010. Comparison of the effects of electrical field stimulation and low-level laser therapy on bone loss in spinal cord-injured rats. *Photomedicine and Laser Surgery* 28, 669–674. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1089/pho.2009.2691>

Midura, R.J., Ibiwoye, M.O., Powell, K., Sakai, Y., Doehring, T., Grabiner, M., Patterson, T., Zborowski, M., & Wolfman, A., 2005. Pulsed electromagnetic field treatments enhance

the healing of fibular osteotomies. *Journal of Orthopaedic Research* 23, 1035–1046. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1016/j.orthres.2005.03.015>

Nelson, F.R., Brighton, C.T., Ryaby, J., Simon, B., Nielson, J., Lorich, D., Bolander, M., & Seelig, J.T., 2003. Use of physical forces in bone healing. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.5435/00124635-200309000-00007>

Neve, A., Corrado, A., & Cantatore, F. P., 2011. Osteoblast physiology in normal and pathological conditions. *Cell and Tissue Research* 343, 289–302. Διαθέσιμο από: <http://doi.org//10.1007/s00441-010-1086-1>

Pinheiro, A.L.B., Gerbi, M., Ponzi E, Ramalho, L., Marques, A., Carvalho, C., Santos, R., Oliveira, P., & Nóia, M., 2008. Infrared laser light further improves bone healing when associated with bone morphogenetic proteins and guided bone regeneration: An in vivo study in a rodent model. *Photomedicine and Laser Surgery* 26, 167–174. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1089/pho.2007.2027>

Ralston, S.H., 2002. Genetic control of susceptibility to osteoporosis. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1210/jcem.87.6.8621>

Rupp, M., Biehl, C., Budak, M., Thormann, U., Heiss, C., Alt, V., 2017. Diaphyseal long bone nonunions — types, aetiology, economics, and treatment recommendations. *International Orthopaedics*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1007/s00264-017-3734-5>

Satter Syed, A., Islam, M.S., Rabbani, K., & Talukder, M.S., 1999. Pulsed electromagnetic fields for the treatment of bone fractures. *Bangladesh Medical Research Council bulletin* 25, 6–10.

Seeman, E., & Delmas, P. D., 2006 Bone quality: The material and structural basis of bone strength. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1056/nejmra053077>

Sun, S., Sun, L., Kang, Y., Tang, L., Qin, Y., & Ta, D., 2020. Therapeutic Effects of Low-Intensity Pulsed Ultrasound on Osteoporosis in Ovariectomized Rats: Intensity-Dependent Study. *Ultrasound in Medicine and Biology* 46, 108–121. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2019.08.025>

Tim, C.R., Bossini, P.S., Kido, H., Malavazi, I., von Zeska Kress, M., Carazzolle, M., Parizotto, N., & Rennó, A.C., 2015. Effects of low-level laser therapy on the expression of osteogenic genes during the initial stages of bone healing in rats: a microarray analysis. *Lasers in Medical Science* 30, 2325–2333. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1007/s10103-015-1807-5>

Väänänen, K., 2005. Mechanism of osteoclast mediated bone resorption - Rationale for the design of new therapeutics. *Advanced Drug Delivery Reviews*. Διαθέσιμο από: <http://doi.org//10.1016/j.addr.2004.12.018>

Warden, S.J., Bennell, K.L., McMeeken, J., Wark, J.D., 1999. Can conventional therapeutic ultrasound units be used to accelerate fracture repair? *Physical Therapy Reviews*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1179/ptr.1999.4.2.117>

Warden, S.J., Stewart, R.L., Fuchs, R.K., Kessler, C.K., Avin, K.G. & Cardinal, R.E., 2006. Ultrasound Produced by a Conventional Therapeutic Ultrasound Unit Accelerates Fracture Repair. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38, S26. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1249/00005768-200605001-00998>

Watson, T., 2008. Ultrasound in contemporary physiotherapy practice. *Ultrasonics*. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1016/j.ultras.2008.02.004>

Zimmerman, M., Parsons, J.R., Alexander, H., & Weiss, A.B., 1984. The electrical stimulation of bone using a filamentous carbon cathode. *Journal of Biomedical Materials Research* 18, 927–938. Διαθέσιμο από: <http://doi:10.1002/jbm.820180807>