



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΝΟΣΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΟΣΤΩΝ»**

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ : ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗΣ ΛΥΡΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΠΑΘΗΣΕΩΝ ΜΥΟΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
«Θ. ΓΑΡΟΦΑΛΙΔΗΣ»**

ΔΙΕΥΘΥΝΤΡΙΑ : ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ι. ΔΟΝΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

<<ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΟΣΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ >>

ΣΤΕΦΑΣ Ζ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

**ΕΙΔΙΚΕΥΟΜΕΝΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
Α ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ

Σεπτέμβριος 2013

*Στη σύζυγο μου Μαρία
και στους γιούς μου
Ζήση και Γιώργο*

*Στους γονείς μου
Ζήση και Βαρβάρα
με σεβασμό*

Βιογραφικό σημείωμα

ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΣΤΕΦΑΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

ΟΝΟΜΑ ΠΑΤΡΟΣ : ΖΗΣΗΣ

ΟΝΟΜΑ ΜΗΤΡΟΣ : ΒΑΡΒΑΡΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 03/12/1978
ΓΕΝΝΗΣΗΣ

ΤΟΠΟΣ ΓΕΝΝΗΣΗΣ : ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΥΠΗΚΟΟΤΗΤΑ : ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ : ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥ 10,
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Τ.Κ.54623

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ, ΑΘΗΝΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ : οικ. 2310 239438
κιν. 6972727943
e-mail: stefas78@yahoo.gr

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Φεβρουάριος 2010 : Ισότιμη Αναγνώριση Πτυχίου από το ΔΟΑΤΑΠ

Σεπτέμβριος 2002 : Αποφοίτηση από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου του Comenius, Μπρατισλάβα, Σλοβακία

ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

09/08/2004 – 08/11/2005 ΙΑΤΡΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ, Π.Ι. ΜΕΓΑΛΗΣ ΒΡΥΣΗΣ, ΚΙΛΚΙΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

15/03/2007 – 14/06/2007 ΕΙΔΙΚΕΥΟΜΕΝΟΣ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗΣ – Γ.Ν.Ν. ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ

16/12/2007 – 22/04/2009 ΕΙΔΙΚΕΥΟΜΕΝΟΣ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗΣ – Γ.Ν.Ν. ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ

03/09/2009 – 02/03/2010 ΕΙΔΙΚΕΥΟΜΕΝΟΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ – Κ.Θ. ΛΕΡΟΥ

15/10/2010 – Μέχρι σήμερα ΕΙΔΙΚΕΥΟΜΕΝΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – Ε.Κ.Α.

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

ΑΓΓΛΙΚΑ : α. FIRST CERTIFICATE IN ENGLISH
β. ΑΓΓΛΟΦΩΝΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΛΟΒΑΚΙΚΑ : ΑΡΙΣΤΑ

Περίληψη

Ο αθλητισμός είναι γνωστό ότι προσφέρει πολλαπλά με τα ευεργετικά του αποτελέσματα σε όλα τα συστήματα του ανθρώπινου σώματος. Τα άτομα που γυμνάζονται συστηματικά ωφελούνται τόσο στο καρδιαγγειακό όσο και στο μυοσκελετικό σύστημα . Οι μεταβολές στο κάθε σύστημα επηρεάζονται από το είδος, την ένταση και τη συχνότητα της άθλησης.

Η οστική πυκνότητα φαίνεται να παρουσιάζει μεταβολές οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από το είδος και την ένταση της άθλησης. Τα αθλήματα δύναμης φαίνεται να προκαλούν την μεγαλύτερη αύξηση στην οστική πυκνότητα η οποία έρχεται σε συνάρτηση με πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με την ιδιαιτερότητα του κάθε αθλήματος ξεχωριστά.

Οι μεταβολές της οστικής πυκνότητας πρέπει να αξιολογούνται από κλινικούς ιατρούς καθώς η αξιολόγηση τους οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα της σκελετικής κατάστασης των αθλητών.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται στην άθληση κατά την παιδική αλλά και εφηβική ηλικία καθώς είναι πολύ σημαντική περίοδος για την σκελετική υγεία του μέλλοντος. Η μηχανική φόρτιση έχει αποδειχθεί ότι είναι το καλύτερο ερέθισμα στην ενίσχυση της οστικής μάζας και των διαρθρωτικών σκελετικών προσαρμογών που συμβάλλουν στην αντοχή των οστών. Η άσκηση σε αυτές τις ηλικίες συμβάλλει στην απόκτηση υψηλής κορυφαίας οστικής πυκνότητας και υπάρχουν στοιχεία που υποστηρίζουν ότι τα κέρδη αυτά διατηρούνται και σε μεγαλύτερη ηλικία μειώνοντας έτσι τον μελλοντικό καταγματικό κίνδυνο λόγω οστεοπόρωσης.

Περιεχόμενα

Βιογραφικό σημείωμα	iii
Περίληψη	v
Περιεχόμενα	vi
Πινάκας Εικόνων	viii
Πινάκας Πινάκων	ix
Πρόλογος	x
Κεφάλαιο 1	1
Φυσιολογία Οστών 1-1	1
Οστίτης ιστός 1-2	2
Οστική Ανακατασκευή 1-3	2
Θεωρία 1-3-1	2
Μηχανισμός Οστικής Ανακατασκευής 1-3-2	3
Μεταβολισμός των Οστών 1-4	5
Οστική παραγωγή και ρύθμιση της 1-4-1	5
Οστική πυκνότητα 1-5	6
Μέγιστη Οστική Πυκνότητα.1-5-1	7
Τεχνικές μέτρησης Οστικής Πυκνότητας 1-6	8
Ιονίζουσες Ακτινοβολίες 1-6-1	8
Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες 1-6-2	10
Μαγνητικός συντονισμός 1-6-3	10
Οστικοί δείκτες 1-7	11
Βιοχημικοί δείκτες οστικού μεταβολισμού 1-7-1	11
Βιοχημικοί δείκτες οστικής παραγωγής 1-7-2	12
Βιοχημικοί δείκτες οστικής απορρόφησης 1-7-3	13

Κεφάλαιο 2	15
Αθλητισμός και οστική πυκνότητα 2-1	15
Επίδραση της άσκησης στα Οστά 2-1-1	15
Νόμος του Wolff και η θεωρία του μηχανοστάτη 2-1-2	16
Ο ρόλος των αυξητικών παραγόντων των μυών 2-1-3	18
Είδος άσκησης και οστική πυκνότητα 2-1-4	20
Μονομερής επιβάρυνση και Οστική Πυκνότητα 2-1-5	31
Αθλητισμός και οστικοί δείκτες 2-2	32
Κεφάλαιο 3	37
Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες 3-1	37
Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα νεαρών αθλητών 3-2	39
Γυναικεία Αθλητική Τριάδα 3-3	41
Κατάγματα κόπωσης 3-4	45
Αθλητές αναπηρικού αμαξιδίου 3-5	48
Η άσκηση ως μέσο πρόληψης της οστεοπόρωσης 3-6	52
Συμπεράσματα	55
Βιβλιογραφία	56

Πίνακας εικόνων

<i>Εικόνα 1-1: Οστική ανακατασκευή (πηγή:http://biomed.csse.uwa.edu.au/research2_2.php).....</i>	<i>4</i>
<i>Εικόνα 1-2: DEXA (πηγή: http://windinmyface.com/dexa-bone.html).....</i>	<i>9</i>
<i>Εικόνα 1-3:pQCT(πηγή:http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012160606).....</i>	<i>10</i>
<i>Εικόνα 2-1:Θεωρία μηχανοστάτη(Martin R.B.Toward a unifying theory of bone remodeling. Volume 26,Is1,January 200,p 1-6)</i>	<i>17</i>
<i>Εικόνα 2-2: Παράγοντες που προάγουν την οστεογένεση προερχόμενοι από τους μύες. (Kaufman H, Reznick A, Stein H, Barak M, Maor G. The biological basis of the bone-muscle inter-relationship in the algorithm of fracture healing. Orthopedics 2008;31:751.).....</i>	<i>19</i>
<i>Εικόνα 3-1: Γυναικεία Αθλητική Τριάδα (γράφημα).....</i>	<i>44</i>
<i>Εικόνα 3-2: Διάγραμμα κόπωσης του οστού σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση [Γιαννακόπουλος Χ.Κ. Αρχές εμβιομηχανικής των οστών. Οστούν(2007)18(1):11-17].....</i>	<i>46</i>

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν την Μέγιστη Οστική Πυκνότητα. [τροποποιημένος από Rizzoli (2001) ¹³⁷].	8
Πίνακας 2: Βιοχημικοί Δείκτες Οστικής Εναλλαγής. [τροποποιημένος από Λυρίτης.Μεταβολικά νοσήματα των οστών (2007)]	14
Πίνακας 3: Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα (μεικτές εργασίες)	21
Πίνακας 4: Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα (εργασίες που αφορούν ένα άθλημα)	25
Πίνακας 5: Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα [σύγκριση αθλημάτων υψηλών(Υ)-χαμηλών(Χ) μηχανικών φορτίσεων]	28
Πίνακας 6: Αποτελέσματα Άσκησης στην Οστική Ανακατανομή (βιοχημικοί δείκτες)	35
Πίνακας 7: Είδη άσκησης και επίδραση τους στην οστική πυκνότητα	38
Πίνακας 8: Παράγοντες κινδύνου κατάγματος καταπόνησης [τροποποιημένος από Beck (2000) ⁹]	47
Πίνακας 9: Σύγκριση οστική πυκνότητας μεταξύ αθλητών αναπηρικού αμαξιδίου και φυσιολογικών αθλητών [τροποποιημένος από Kimiko (2008) ⁹⁰]	50

Πρόλογος

Ο αθλητισμός σαν μέσο άσκησης αλλά και επαγγελματικό καλύπτει ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας παρουσιάζουν οι μεταβολές της οστικής πυκνότητας σε άτομα που δραστηριοποιούνται στον αθλητισμό. Αποτελεί πρόκληση για τους ερευνητές καθώς πολλά πεδία είναι ακόμα αδιευκρίνιστα και αναμένεται να διερευνηθούν. Η συνεχής εξέλιξη των τρόπων αξιολόγησης των μεταβολών του οστικού μεταβολισμού ανοίγει νέα ερευνητικά πεδία τα οποία σε συνάρτηση με το γεγονός ότι μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού ασχολείται ενεργά με τον αθλητισμό πρέπει να αξιολογηθούν.

Η βιβλιογραφία που αφορά το συγκεκριμένο αντικείμενο είναι πλούσια και υπάρχει πλήθος ερευνητικών πρωτοκόλλων ανά τον κόσμο τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία όσον αφορά το ερευνητικό αντικείμενο. Χρησιμοποιήθηκαν διαδικτυακές μηχανές αναζήτησης όπως το PubMed και το Google καθώς και άλλα ιατρικά συγγράμματα. Αντικειμενικός σκοπός του παρόντος συγγράμματος είναι να περιγράψει τις μεταβολές της οστικής πυκνότητας τόσο σε γενικές όσο και σε ειδικές κατηγορίες πληθυσμού που ασχολείται συστηματικά με τον αθλητισμό. Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται αναλυτικά οι μεταβολές του οστικού μεταβολισμού σε συγκεκριμένα αθλήματα ενώ στο κεφάλαιο 3 αφορά μεταβολές του οστικού μεταβολισμού σε ειδικές ομάδες πληθυσμού.

Προς τον επιβλέποντά μου κ. Χρονόπουλο Ευστάθιο, Επίκουρο Καθηγητή Ορθοπαιδικής Ε.Κ.Π.Α. θέλω να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου για τις υποδείξεις, τα σχόλια, τη βοήθεια και τη συμπαράστασή του.

Στον κ. Παπαϊωάννου Νικόλαο, Αναπληρωτή Καθηγητή Ορθοπαιδικής Ε.Κ.Π.Α., τις θερμές μου ευχαριστίες για τις γνώσεις που συμπεριέλαβα στην συγγραφή της εργασίας.

Τέλος, απευθύνω ευχαριστίες στον κ. Λυρίτη Γεώργιο, Ομότιμο Καθηγητή Ορθοπαιδικής Ε.Κ.Π.Α. για την ιδιαίτερη συνεισφορά του στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών.

Κεφάλαιο 1

1.1 Φυσιολογία οστών

Ο οστίτης ιστός είναι ένας ζωτικός και δυναμικός ιστός. Τα οστά είναι σχεδιασμένα ώστε να εκτελούν τις εξής σημαντικές λειτουργίες. Η πρώτη εξασφαλίζει τη στήριξη και την κινητικότητα του ατόμου και είναι συνεργική με τα άλλα στοιχεία του μυοσκελετικού συστήματος. Η δεύτερη είναι η προστασία που παρέχει στο αιμοποιητικό σύστημα και στα ζωτικά όργανα του κρανίου, του θώρακα και της πυέλου και η τρίτη είναι η ρύθμιση της ομοιοστασίας του ασβεστίου, του μαγνησίου και του φωσφόρου. Τα οστά έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν την γεωμετρία τους και να προσαρμόζονται σε νέα δεδομένα όπως είναι η οστική απώλεια ή η μεταβολή της μυϊκής μάζας σε περιόδους όπως είναι της σκελετικής ανάπτυξης. Ακόμα έχουν την ικανότητα της συνεχούς επιδιόρθωσης των μικροφθορών με τη διαδικασία της οστικής ανακατασκευής αλλά και της πλήρους αποκατάστασης όπως συμβαίνει στα κατάγματα⁵⁹.

1.2 Οστίτης ιστός

Τα οστά αποτελούνται από κύτταρα και θεμέλια ουσία. Τα οστικά κύτταρα είναι οι οστεοβλάστες, οι οστεοκλάστες και το οστεοκύτταρο. Η εξειδικευμένη θεμέλια ουσία παρέχει την ιδεώδη σκληρότητα και ελαστικότητα για να μπορούν τα οστά να ανταπεξέρχονται στις συνεχείς μικροκαταπονήσεις. Τα οστά αποτελούνται από δυο τύπους οστίτη ιστού: το φλοιώδες ή συμπαγή και το δοκιδωτό ή σπογγώδες οστό. Το εξωτερικό τμήμα ονομάζεται φλοιώδες ή συμπαγή οστό και συνιστά το 80% της μάζας του σκελετού. Αποτελείται από πυκνό οστίτη ιστό και μόνιμα κύτταρα, τα οποία ονομάζονται οστεοκύτταρα. Τα οστεοκύτταρα βρίσκονται βαθιά στο συμπαγές οστό και επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου σωληνίσκων. Επειδή η σχέση της επιφάνειας με τον όγκο του οστού είναι χαμηλή, η ανακατασκευή του συμπαγούς οστού γίνεται με βραδύ ρυθμό. Το φλοιώδες οστό βρίσκεται περισσότερο στις διαφύσεις των μακρών οστών και εξυπηρετεί τις μηχανικές

και προστατευτικές λειτουργίες του οργανισμού. Στο εσωτερικό του συμπαγούς οστού βρίσκεται το δοκιδωτό η σπογγώδες οστό, που αποτελεί το 20% της μάζας του σκελετού. Το σπογγώδες οστό βρίσκεται στα σώματα 8 των σπονδύλων, στις πλευρές στην πύελο και στα άκρα των μακρών οστών¹⁶⁹.

Το σπογγώδες οστό αποτελείται από λεπτές, διαπλεκόμενες δοκίδες που επικαλύπτονται με οστικά κύτταρα. Στις πολυάριθμες κοιλότητες που σχηματίζονται μεταξύ των δοκίδων βρίσκεται ο μυελός των οστών. Σε αυτόν το τύπο του οστού υπάρχει έντονη κυτταρική δραστηριότητα η οποία εξυπηρετεί περισσότερο τις μεταβολικές λειτουργίες του οργανισμού. Λόγω της υψηλής σχέσης της επιφάνειας με τον όγκο του σπογγώδους οστού η κυτταρική δραστηριότητα και η ανακατασκευή του σπογγώδους οστού πραγματοποιείται με ταχύτερο ρυθμό από ότι στο συμπαγές οστό⁷.

1.3 Οστική Ανακατασκευή

1.3.1 Θεωρία

Ο Οστίτης ιστός αποτελεί έναν ιστό με αυξημένη ικανότητα ανάπλασης και επιδιόρθωσης που επιτυγχάνεται με τη διαδοχική ενεργοποίηση και λειτουργία των οστεοκλαστών και των οστεοβλαστών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται οστική ανακατασκευή και εκτός από ανάπλαση και επιδιόρθωση των οστών επιτελεί και σταθεροποίηση των τιμών του ιονισμένου ασβεστίου στον εξωκυττάριο χώρο ενώ προσαρμόζει και την ποσότητα του οστού στις εκάστοτε απαιτούμενες μηχανικές ανάγκες του σκελετού⁶⁷.

1.3.2 Μηχανισμός Οστικής Ανακατασκευής

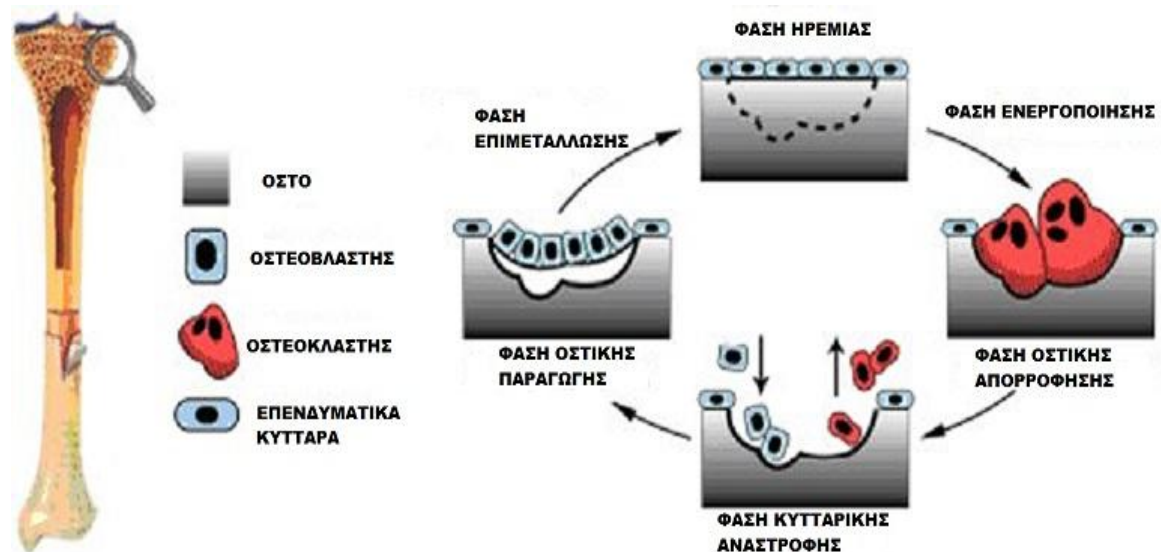
Η οστική ανακατασκευή γίνεται με την τροποποίηση της βασικής μικροκατασκευαστικής μονάδας του οστού σε βασική πολυκυτταρική ή μεταβολική μονάδα του οστού. Οι φάσεις της οστικής ανακατασκευής είναι πέντε:

1. *Φάση ηρεμίας (quiescent phase)*. Στη φάση αυτή το οστό είναι μεταβολικά ανενεργό. Η ελεύθερη επιφάνεια του επιστρώνεται από άφθονα αποπλατυσμένα επενδυματικά κύτταρα τα οποία σε αυτή τη φάση είναι ανενεργά.
2. *Φάση ενεργοποίησης (activation phase)*. Στη φάση αυτή ένας διεγέρτης των οστεοκλαστών κινητοποιεί τις προ-οστεοκλάστες οι οποίες συντήκονται και σχηματίζουν τις οστεοκλάστες. Κύριοι ενεργοποιητές είναι διάφορες κυτοκίνες που απελευθερώνονται από τους οστεοβλάστες (κυρίως ο TNF α και ο παράγων RANKL, η ιντερλευκίνη-1 και -6). Η φάση της ενεργοποίησης διαρκεί 5-7 ημέρες.
3. *Φάση οστικής απορρόφησης (resorption phase)*. Είναι διάρκειας 3-4 εβδομάδων στο σπογγώδες οστό και 6-10 εβδομάδων στο φλοιώδες οστό. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής η αποσιτανωμένη θεμέλια ουσία απορροφάται προοδευτικά από τις οστεοκλάστες. Στο φλοιώδες οστό οι οστεοκλάστες δημιουργούν ένα κωνικό μέτωπο μέσα στο συμπαγές αβέρσιο σύστημα στο οποίο προπορεύονται οι οστεοκλάστες και ακολουθούν οι οστεοβλάστες και τα νεοσχηματιζόμενα οστεοκύτταρα. Η φάση ολοκληρώνεται με την απόπτωση των οστεοκλαστών.
4. *Φάση κυτταρικής αναστροφής (reversal phase)*. Οι οστεοκλάστες αποκολλώνται από το οστό και μετακινούνται μακριά από το σημείο οστικής απορρόφησης για να απορροφήσουν οστό από άλλο σημείο, αφού πρώτα αποβάλουν στον εξωκυττάριο χώρο το ασβέστιο που απορρόφησαν. Στη θέση τους εμφανίζονται οι οστεοβλάστες, οι οποίοι ενεργοποιούνται από διάφορους αυξητικούς παράγοντες (TGF- β και IGF-I). Η φάση αυτή διαρκεί 7 ημέρες στο φλοιώδες και 5 ημέρες στο σπογγώδες οστό.
5. *Φάση οστικής παραγωγής (formation phase)*. Στη φάση οι οστεοβλάστες παράγουν και εναποθέτουν κολλαγόνο και μη κολλαγόνες πρωτεΐνες. Το

κολλαγόνο πολυμερίζεται γρήγορα και σχηματίζει ίνες με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση του οστεοειδούς το οποίο στη συνέχεια ακολουθεί τη φάση της επιμετάλλωσης. Η φάση αυτή διαρκεί 2-3 μήνες στο σπογγώδες οστό και 5 μήνες στο φλοιώδες οστό.

Μετά τη συμπλήρωση της φάσης αυτής ο κύκλος της οστικής ανακατασκευής ολοκληρώνεται και η μεταβολική μονάδα επανέρχεται στην αρχική φάση ηρεμίας.

Η οστική ανακατασκευή λειτουργεί με απόλυτη συνεργασία οστεοβλάστη και οστεοκλάστης. Η ισόρροπη συνεργασία αυτών των δυο κυτταρικών σειρών λέγεται 'φαινόμενο σύζευξης' και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της σωστής οστικής ανακατασκευής. Οποιαδήποτε διατάραξη αυτής της ισορροπίας υπέρ κάποιας κυτταρικής σειράς είναι η κύρια αιτία πρόκλησης μεταβολικού νοσήματος⁴⁶.



Εικ.1.1. Οστική ανακατασκευή

1.4 Μεταβολισμός των Οστών

1.4.1. Οστική παραγωγή και ρύθμιση της

Η παραγωγή οστού αποτελεί μια δυναμική λειτουργία του οστίτη ιστού, τόσο στη διάρκεια της σκελετικής ανάπτυξης όσο και κατά την πρόωση των καταγμάτων. Η οστική κατασκευή ρυθμίζεται κυρίως από γενετικούς παράγοντες αλλά και από ενδοκρινικούς και άλλους παράγοντες. Η οστική ανακατασκευή ρυθμίζεται, εκτός από γενετικούς, και από συστηματικούς παράγοντες (πχ. παραθορμόνη, vit.D, καλσιτονίνη κ.α.), καθώς επίσης και από τοπικούς παράγοντες (TGF-β, BMPs, IGF-I, IGF-II, TNF-α, OPG-RANKL-RANK, κ.α.). Οι τοπικοί οστικοί μηχανισμοί ενεργούν κυρίως με τη μεσολάβηση των αυξητικών παραγόντων και των κυτοκινών, ουσιών που δρουν αυτοκρινικά. Οι αυξητικοί παράγοντες επιδρούν άμεσα στις κυτταρικές γραμμές από τις οποίες προέρχονται οι οστεοβλάστες και οι οστεοκλάστες αλλά και έμμεσα καθώς αποθηκεύονται στην θεμέλια ουσία για να επαναχρησιμοποιηθούν όταν κινηθεί η διαδικασία της οστικής ανακατασκευής¹⁵⁶. Οι κυτοκίνες παρουσιάζουν πολλαπλά επίπεδα δράσης στα οστά. Εμπλέκονται στις διαδικασίες διαφοροποίησης των προγονικών κυττάρων από τα οποία προέρχονται οι οστεοκλάστες και οι οστεοβλάστες, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να επιδράσουν και σε ώριμα κύτταρα ελέγχοντας έτσι την ισορροπία αυτών των πληθυσμών. Αλληλεπιδρούν ακόμα με τα ορμονικά συστήματα που ρυθμίζουν τον οστικό μεταβολισμό (άξονας υποθαλάμου- υπόφυσης, γεννητικές ορμόνες και βιταμίνη D) και συμπεριλαμβάνονται στους τελικούς διαβιβαστές των ορμονικών μηνυμάτων σε κυτταρικό επίπεδο στο οστό⁴⁰.

1.5 Οστική πυκνότητα

Η Οστική Πυκνότητα είναι ένας ιατρικός όρος που αναφέρεται στην ποσότητα του ανόργανου υλικού (μέταλλα) ανά τετραγωνικό εκατοστό των οστών (Bone+Density at the US National Library of Medicine Medical Subject Headings). Χρησιμοποιείται στην κλινική ιατρική ως ένας έμμεσος δείκτης της οστεοπόρωσης και του κινδύνου κατάγματος καθώς υπάρχει μια στατιστική σχέση ανάμεσα στην χαμηλή οστική πυκνότητα και μεγαλύτερη πιθανότητα κατάγματος³¹.

Ο όγκος του οστού μέσα στο οστό, είναι γνωστός ως φαινομενική πυκνότητα του οστού, για να διακρίνεται από την πραγματική πυκνότητα του οστίτη ιστού. Η φαινομενική αυτή πυκνότητα του οστού, αποτελεί ουσιαστικά ένα δείκτη της οστικής πυκνότητας των μετάλλων (Bone Mineral Density-BMD) του οστού και μπορεί να προσδιορισθεί ικανοποιητικά από την πυκνομετρία. Έτσι η BMD υποδηλώνει την ποσότητα των μετάλλων του οστού σε μια δεδομένη περιοχή και εκφράζεται σε gr/cm^2 . Η χρήση της οστικής αυτής παραμέτρου ως μέτρο της οστεοπόρωσης, επιτρέπεται από το γεγονός ότι η ποσότητα του οστίτη ιστού σε οποιοδήποτε οστό βρίσκεται σε ευθεία αναλογία με την ποσότητα των οστικών μετάλλων¹²⁵. Ο δείκτης T-score αποτελεί σημείο αναφοράς της μέτρησης της οστικής πυκνότητας και αντιπροσωπεύει τη διαφορά της μετρούμενης τιμής της οστικής πυκνότητας από τη μέση θεωρητική τιμή της κορυφαίας οστικής πυκνότητας υγιών ατόμων, ιδίου φύλου και χαρακτηριστικών. Ο δείκτης Z-score αφορά τη σύγκριση της τιμής της οστικής πυκνότητας με τη μέση τιμή υγιών ατόμων ιδίου φύλου και ίδιας ηλικίας (age-matched)⁷⁹.

Σύμφωνα με τις οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), τιμές T-score μεγαλύτερες από -1SD εκτιμούν φυσιολογική BMD, τιμές μεταξύ -1SD και -2.5 SD αξιολογούν χαμηλή οστική μάζα (**οστεοπενία**) και τιμές μικρότερες από -2.5 SD θέτουν διάγνωση **οστεοπόρωσης**. Στην περίπτωση των παιδιών γίνεται αξιολόγηση του δείκτη Z-score⁸⁰.



1.5.1. Μέγιστη Οστική Πυκνότητα.

Μέγιστη Οστική Πυκνότητα (peak bone density) είναι η μέγιστη κατά τη διάρκεια της ζωής επιτυγχανόμενη οστική πυκνότητα. Η χρονική διάρκεια που επιτυγχάνεται η μέγιστη οστική πυκνότητα εξαρτάται κυρίως από γενετικούς, φυλετικούς και ορμονικούς παράγοντες. Παρουσιάζει μια ταχεία γραμμική αύξηση κατά τη διάρκεια της νηπιακής ηλικίας μέχρι το 15^ο με 20^ο έτος, που γίνεται η σύγκλιση των επιφύσεων των οστών. Η οστική μάζα ωστόσο συνεχίζει να αυξάνεται με αποτέλεσμα η μέγιστη οστική πυκνότητα να επιτυγχάνεται στο 25^ο για τις γυναίκες και το 30^ο για τους άνδρες. Η έννοια της μέγιστης οστικής πυκνότητας είναι θεμελιώδους σημασίας καθώς πολύ υψηλή τιμή συνεπάγεται με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης οστεοπόρωσης στη μετέπειτα ζωή¹⁰⁴.

Κληρονομική προδιάθεση (70-80% κληρονομικοί παράγοντες)
Φύλο (άνδρες>γυναίκες)
Φυλή (έγχρωμοι>λευκοί)
Ορμονικοί (γεννητικές ορμόνες, TSH, GH, ινσουλίνη)
Κυήσεις και γαλουχία
Διατροφή (πρόσληψη ασβεστίου, βιτ. D)
Άσκηση
Νοσήματα κατά την ανάπτυξη

Πιν.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την Μέγιστη Οστική Πυκνότητα¹³⁷

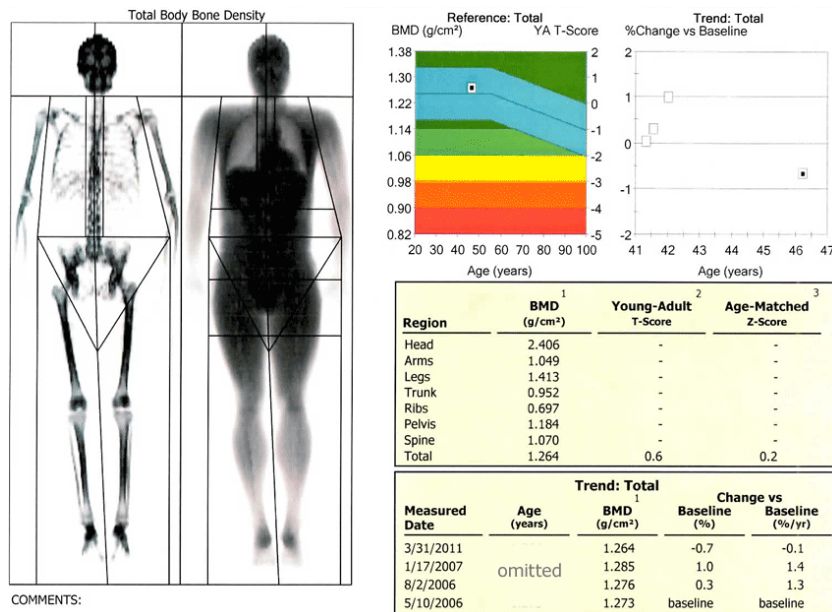
1.6 Τεχνικές μέτρησης Οστικής Πυκνότητας.

Η μέτρηση της οστικής πυκνότητας γίνεται με μη επεμβατικές μεθόδους. Αρχικά βασίστηκε στη χρήση μόνο ιονίζουσών ακτινοβολιών αλλά αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, όπως οι υπέρηχοι και ο μαγνητικός συντονισμός. Απαραίτητη προϋπόθεση για την παρακολούθηση της οστικής πυκνότητας με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις είναι η άριστη λειτουργία του μηχανήματος, τόσο σε ακρίβεια όσο και σε επαναληψιμότητα³⁴.

1.6.1 Ιονίζουσες Ακτινοβολίες.

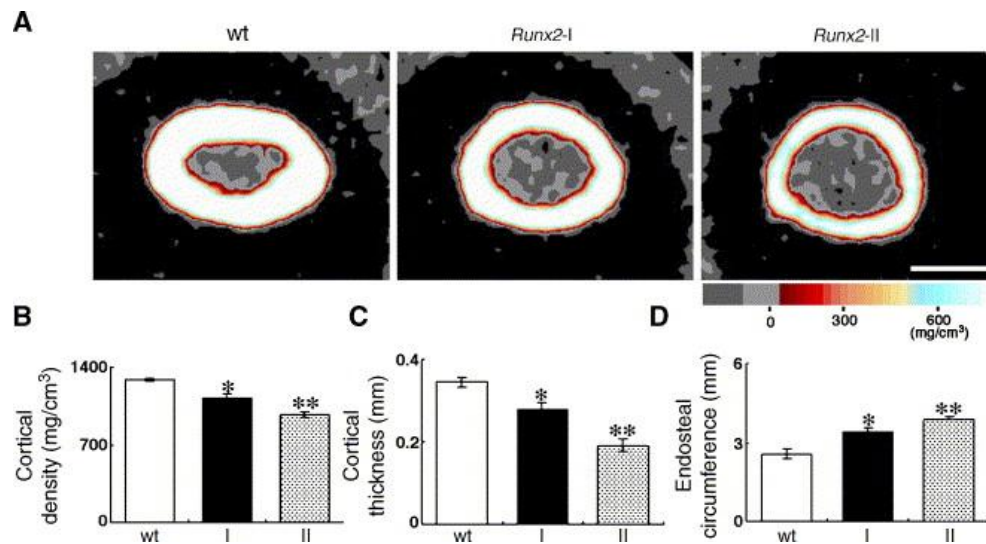
Η **απορροφησιομετρία διπλής ενεργειακής δέσμης φωτονίων** (Dual Energy X-ray Absorptiometry, **DEXA**) έχει καθιερωθεί ως η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική οστεοπυκνομετρίας λόγω της πολύ καλής επαναληψιμότητας και της μικρής διάρκειας της εξέτασης. Η τεχνική αυτή έχει την δυνατότητα εκτίμησης της οστικής πυκνότητας τόσο του κεντρικού όσο και του περιφερικού σκελετού με συχνότερα σημεία μέτρησης την οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης και στην κεφαλή του μηριαίου. Στην οσφυϊκή μοίρα αξιολογείται η μέση οστική πυκνότητα στους σπόνδυλους O2-O4 ενώ στο

μηριαίο στον αυχένα, στο τρίγωνο Ward's, στον τροχαντήρα, στη διάφυση και στο σύνολο του μηριαίου οστού⁸¹.



Εικ.1.2. DEXA (πηγή: <http://windinmyface.com/dexa-bone.html>)

Επειδή η οστική πυκνομετρία εκτιμά την ποσότητα και όχι την ποιότητα του οστού οι επιπρόσθετες πληροφορίες συμπληρώνονται από εφαρμογές όπως η **περιφερική τομογραφία** (peripheral Quantitative Computed Tomography, **pQCT**). Τα συστήματα περιφερικής τομογραφίας είναι αυτόματα συστήματα προσδιορισμού οστικής πυκνότητας στην περιοχή της κνήμης και του αντιβραχίου και μετρούν πραγματική πυκνότητα του οστού σε gr/cm³. Είναι ένα σύστημα που διαχωρίζει και μετρά ανεξάρτητα το σπογγώδες από το φλοιώδες οστό, προσδιορίζοντας ταυτόχρονα και τις γεωμετρικές παραμέτρους¹¹⁶.



Εικ.1.3. pQCT

(πηγή:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012160606002429>)

1.6.2.Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες.

Η μέθοδος **ποσοτικής υπερηχοτομογραφίας** (Quantitative Ultrasound, **QUS**) στηρίζεται στην παραγωγή και ανίχνευση δέσμης υπερήχων σε περιφερικά τμήματα του σκελετού όπως το οπίσθιο τμήμα της πτέρνας, τις φάλαγγες, την κνήμη, το περιφερικό άκρο της κερκίδας και την επιγονατίδα. Είναι απαραίτητο να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη επαφή ανάμεσα στους ηχοβολείς και τη μετρούμενη οστική επιφάνεια και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται είτε εμβύθιση του εξεταζόμενου άκρου σε νερό (μονάδα Lunar) είτε η χρήση γέλης (μονάδα Hologic). Η μέθοδος συνιστάται για εκτίμηση κινδύνου κατάγματος και όχι για διάγνωση οστεοπόρωσης¹⁷⁴.

1.6.3. Μαγνητικός συντονισμός.

Ο **μαγνητικός συντονισμός** (Magnetic Resonance Imaging, **MRI**) έχει τη δυνατότητα της ανάδειξης του σπογγώδους οστού και των οστεοδοκίδων και η εφαρμογή του αφορά τη μελέτη της αρχιτεκτονικής του οστού. Αποτελεί μέθοδο εκλογής για τη διάκριση οστεοπορωτικών και κακοήθους αιτιολογίας σπονδυλικών καταγμάτων¹⁷⁰.

1.7 Οστικοί δείκτες

1.7.1. Βιοχημικοί δείκτες οστικού μεταβολισμού (Bone Turnover Markers, BTMs).

Το οστό είναι ένας δυναμικός ιστός που βρίσκεται σε συνεχή ανακατασκευή. Η οστική απορρόφηση και η οστική παραγωγή υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι σε ισορροπία ώστε να διατηρείται ακέραιη η οστική μάζα και η μικροαρχετοκτονική του σκελετού. Η οστική εναλλαγή επιτρέπει στο σκελετό να ανταποκριθεί στις διάφορες δυνάμεις που του ασκούνται, εμφανίζοντας οστική παραγωγή στα σημεία μηχανικής αποδυνάμωσης. Φυσιολογικά η οστική απορρόφηση συνδέεται απόλυτα με την οστική παραγωγή, έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία απώλεια οστίτη ιστού κατά τη διάρκεια της οστικής εναλλαγής. Όταν η ισορροπία αυτή ανατρέπεται αποτελεί σημαντική παράμετρο των νοσημάτων που συνδέονται με τον μεταβολισμό των οστών³⁰.

Η αξιολόγηση του ρυθμού της οστικής ανακατασκευής γίνεται με βιοχημικούς δείκτες οι οποίοι μπορούν να μετρηθούν στον ορό και στα ούρα. Οι οστεοκλάστες κατά τη διάρκεια της οστικής απορρόφησης απελευθερώνουν, εκτός από ασβέστιο και φωσφόρο, πεπτίδια προϊόντα της αποδόμησης του κολλαγόνου τύπου 1. Τα πεπτίδια αυτά μπορούν να μετρηθούν στον ορό αίματος και στα ούρα και να ποσοτικοποιήσουν την οστική απορρόφηση. Αντίστοιχα ο σχηματισμός νέου οστού οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων του κολλαγόνου και των άλλων πρωτεϊνών της θεμέλιας ουσίας του οστού που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων της οστεοβλαστικής διαφοροποίησης²³.

1.7.2. Βιοχημικοί δείκτες οστικής παραγωγής

Αλκαλική Φωσφατάση (ALP).

Είναι ένα ένζυμο με άγνωστη μεταβολική λειτουργία που βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση εκτός από τα οστά, στο εντερικό επιθήλιο, στα νεφρικά σωληνάκια, στο ήπαρ και στον πλάκοντα. Από την ολική ALP που κυκλοφορεί στο αίμα το 95% προέρχεται είτε από το ήπαρ είτε από τα οστά και σε φυσιολογικές συνθήκες η αναλογία ηπατικών και οστικών ισομορφών είναι περίπου 1:1. Η οστική ALP φαίνεται να σχετίζεται με τη μετάλλωση των οστών με αποτέλεσμα τα επίπεδα της να αυξάνονται στην κυκλοφορία κατά τη διάρκεια περιόδων ενεργού οστικού μεταβολισμού και αύξησης των οστών, όπως είναι η παιδική και εφηβική ηλικία. Γίνεται μέτρηση τόσο της Ολικής Αλκαλικής Φωσφατάσης (SAP) όσο και του Οστικού Κλάσματος Αλκαλικής Φωσφατάσης (BAP)³³.

Οστεοκαλσίνη(BGP).

Συντίθεται από ώριμους οστεοβλάστες και διαδραματίζει ρόλο στη ρύθμιση της οστικής εναλλαγής. Η εφαρμογή των διαφόρων δοκιμασιών μέτρησης της οστεοκαλσίνης ως εξέταση ρουτίνας περιορίζεται λόγω της ύπαρξης πολλαπλών μορφών οστεοκαλσίνης στην κυκλοφορία αλλά και από τις αποκλίσεις που παρουσιάζουν οι διαθέσιμες μέθοδοι⁴⁴.

Αμινοτελικό (PINP) και καρβοξυτελικό (PICP) προπεπτιδίου του προκολλαγόνου τύπου I.

Αποτελούν χρήσιμο δείκτη του οστικού μεταβολισμού. Απελευθερώνονται στο εξωκυττάριο υγρό κατά τη διάρκεια παραγωγής του προκολλαγόνου τύπου I¹²⁶.

1.7.3. Βιοχημικοί δείκτες οστικής απορρόφησης.

Διασταυρούμενα τελοπεπτίδια ούρων του κολλαγόνου τύπου I.

Τα τελοπεπτίδια **CTX** και **NTX** είναι προϊόντα καταβολισμού του κολλαγόνου τύπου I και θεωρούνται οι πιο αξιόπιστοι δείκτες οστεοκλαστική δραστηριότητας. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με ανοσολογικές μεθόδους. Ο ποσοτικός τους προσδιορισμός μπορεί να γίνει τόσο στον ορό όσο και στα ούρα²⁶.

Ανθεκτική στο άλας του τρυγικού οξέος όξινη φωσφατάση (TRAP 5b).

Ο προσδιορισμός της στον ορό αντανακλά τον ρυθμό της οστικής αποδόμησης από την απευθείας δράση των οστεοκλαστών. Ο πιο εξειδικευμένος δείκτης οστικής απορρόφησης⁶¹.

Ασβέστιο Ούρων.

Είναι σημαντικό για τη μελέτη της διακίνησης του ασβεστίου στον οργανισμό. Το ασβέστιο ούρων νήστεως, διορθωμένο προς τη σύγχρονη αποβολή της κρεατινίνης (**Ca/Cr**) είναι μια φθηνή και απλή μέθοδος που αντανακλά τον οστικό μεταβολισμό, απαιτείται όμως σημαντική αύξηση της οστικής απορρόφησης για να δώσει μεταβολές¹⁵⁴.

Υδροξυπρολίνη Ούρων.

Η υδροξυπρολίνη ούρων νήστεως, διορθωμένη προς την κρεατινίνη ούρων (**OHP/Cr**) αποτελεί έναν καλό βιοχημικό δείκτη οστικής απορρόφησης⁴⁴.

Πυριδινολίνη (PYD) και δεοξυπυριδινολίνη (DPD) ούρων.

Βρίσκονται σε αφθονία στη θεμέλια ουσία και αποβάλλονται αμετάβλητες από τα ούρα όταν υπάρχει οστεοκλαστική δραστηριότητα¹⁴⁰.

Δείκτες Οστικής Παραγωγής	Ανάλυση προσδιορισμός
Ολική αλκαλική φωσφατάση (SAP)	Αίμα
Οστικό κλάσμα αλκαλικής φωσφατάσης (BAP)	Αίμα
Οστεοκαλσίνη (BOC)	Αίμα
N-τελικό προπεπτιδίο προκολλαγόνου τύπου I (PINP)	Αίμα
C-τελικό προπεπτιδίο προκολλαγόνου τύπου I (PICP)	Αίμα
Δείκτες Οστικής Απορρόφησης	
N-τελοπεπτιδίο κολλαγόνου τύπου I (NTX)	Αίμα/Ούρα
C-τελοπεπτιδίο κολλαγόνου τύπου I	Αίμα/Ούρα
Ανθεκτικό στο τρυγικό άλας κλάσμα όξινης φωσφατάσης (TRAP 5b)	Αίμα
Ασβέστιο/ Κρεατινίνη (Ca/Cr)	Ούρα
Υδροξυπρολίνη/ Κρεατινίνη (OHP/Cr)	Ούρα
Πυριδινολίνη/ Κρεατινίνη (PYD/Cr)	Ούρα
Δεοξυπυριδινολίνη/ Κρεατινίνη (DPD/Cr)	Ούρα

Πιν.2: Βιοχημικοί Δείκτες Οστικής Εναλλαγής.

Οι δείκτες οστικού μεταβολισμού σε συνδυασμό με τα στατικά δεδομένα της οστικής πυκνομετρίας αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο στην αξιολόγηση της σκελετικής κατάστασης⁷⁵. Στο παρελθόν η χρήση τους περιοριζόταν σε ερευνητικό επίπεδο. Με την εξέλιξη όμως της μεθοδολογίας και των κλινικών στοιχείων η χρήση των δεικτών οστικού μεταβολισμού αυξάνεται πλέον και στην κλινική πράξη⁵³.

2.Κεφάλαιο 2

2.1.Αθλητισμός και οστική πυκνότητα

Η απόκριση των οστών στην άσκηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ειδίκευση και το μέγεθος των μηχανικών ερεθισμάτων που δέχονται. Έτσι στα οστά που εφαρμόζονται δυνάμεις, βαρυτικές ή μηχανικές, μεγαλύτερες του φυσιολογικού αναμένεται αύξηση τόσο στη μάζα και όσο και στην πυκνότητα τους για να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις αυξημένες απαιτήσεις. Μετά από συγκριτικές μελέτες μεταξύ αθλητών και μη ασκούμενων ατόμων βρέθηκε πως η οστική πυκνότητα σε συγκεκριμένες οστικές περιοχές όπως η σπονδυλική στήλη, ο αυχένας του μηριαίου και το κυρίαρχο άνω χέρι είναι αυξημένη στους αθλητές¹⁴⁷. Η οστική μάζα ωστόσο φαίνεται να επηρεάζεται και από το άθλημα αλλά και από το είδος του οστού⁸⁷. Έχει μελετηθεί πως στα αθλήματα με σημαντικές μηχανικές φορτίσεις όπως η ενόργανη γυμναστική, η άρση βαρών, η καλαθοσφαίριση και η χειροσφαίριση υπάρχει σημαντική αύξηση στην οστική μάζα των αθλητών¹⁴⁹, ενώ στα αθλήματα χωρίς έντονη μηχανική φόρτιση όπως η κολύμβηση δεν υπάρχει θετική επίδραση στην οστική μάζα⁸⁷. Σε μελέτες που έχουν γίνει σε αθλήματα με μονομερή επιβάρυνση όπως η αντισφαίριση διαπιστώθηκε πως το κυρίαρχο άνω άκρο είχε μεγαλύτερη οστική μάζα και πυκνότητα από το άλλο άκρο¹⁶⁸. Η διαφορά οφείλεται στην κατά πολύ μεγαλύτερη φόρτιση που εφαρμόζεται στα συγκεκριμένα οστά και είναι σε συνάρτηση με την ιδιαιτερότητα του κάθε αθλήματος χωριστά⁸⁵.

2.1.1. Επίδραση της άσκησης στα Οστα.

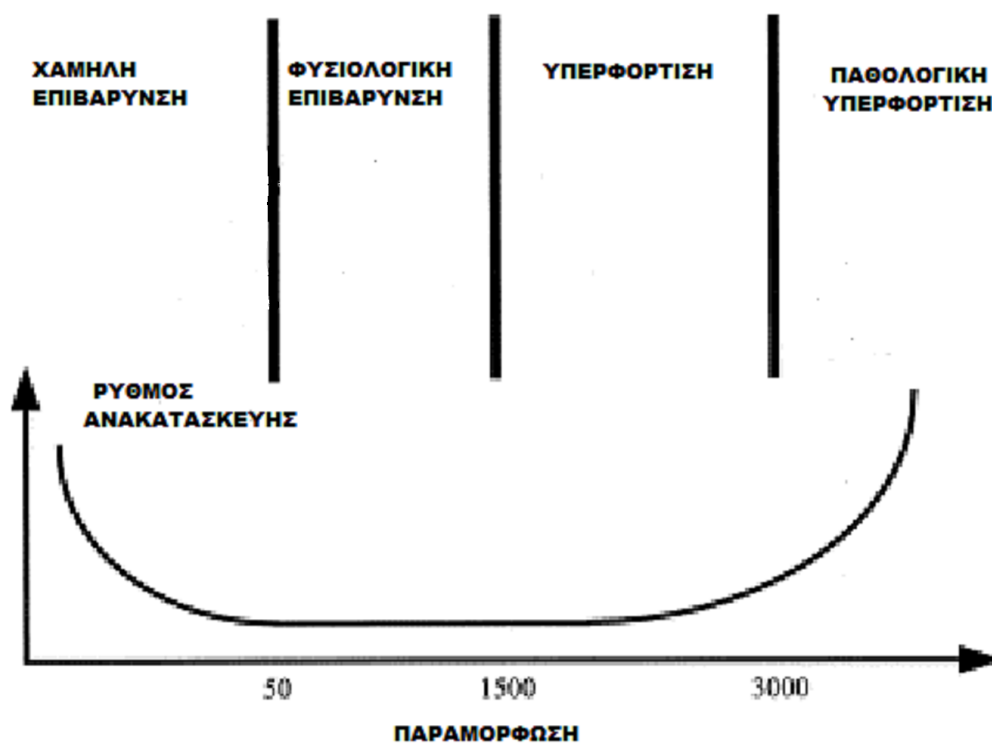
Η ιδέα ότι τα φορτία τα οποία προέρχονται από έντονη φυσική δραστηριότητα αποτελούν αιτία οστεογένεσης είναι μια κοινή συνισταμένη στη διεθνή βιβλιογραφία. Εντούτοις η φυσιολογική διαδικασία που είναι υπεύθυνη για αυτό το φαινόμενο δεν εξηγείται σαφώς. Σύμφωνα με τον Menkes και του συνεργάτες του η αύξηση της οστικής πυκνότητας οφείλεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Αυτό προτείνεται από την παρουσία βιοχημικών σημάτων τα οποία αντανακλούν μια ηλεκτρική δραστηριότητα ως συνέπεια

της ασκούμενης δύναμης. Η θεωρία αυτή έχει εφαρμογή σε όλες τις μηχανικές αλλαγές που συμβαίνουν στα οστά που οφείλονται σε δυνάμεις ελκυσμού, συμπίεσης, στρέψης και διάτμησης. Οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο ενεργοποιεί μια κυτταρική δραστηριότητα η οποία οδηγεί σε εναπόθεση αλάτων στις περιοχές που δέχονται την πίεση¹¹². Ωστόσο η οστεογένεση που προέρχεται από τη φυσική δραστηριότητα απαιτεί υψηλό προπονητικό επίπεδο που χαρακτηρίζεται από μεγάλο προπονητικό όγκο και ένταση. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ αθλητών και μη ασκούμενων επιβεβαιώνουν αυτή την αντίληψη³⁵.

2.1.2.Νόμος του Wolff και η θεωρία του μηχανοστάτη.

Εδώ και πολλά χρόνια ο γερμανός Julius Wolff ανέπτυξε μια θεωρία σχετικά με την ικανότητα του οστού να προσαρμόζεται στις δυνάμεις που εφαρμόζονται πάνω του. Ανέφερε ότι το οστό βελτιστοποιεί την δομή του ώστε να αντέχει τη λειτουργική επιβάρυνση που δέχεται¹⁷². Στη συνέχεια ο Frost εισήγαγε τη «θεωρία του μηχανοστάτη». Περιέγραψε τη φόρτιση του σκελετού ως παραμόρφωση (strain) η οποία μπορεί να παράγει την τροποποιημένη απάντηση του οστού έναντι της φορτίσεως. Οι παραμορφώσεις πάνω από ένα ορισμένο όριο οδηγούν σε εναπόθεση νέου οστού, προσαρμόζοντας το οστό στις βαρυντικές δυνάμεις που συνήθως εφαρμόζονται. Ωστόσο επαναλαμβανόμενες παραμορφώσεις μπορούν να προκαλέσουν μικροτραυματισμούς οι οποίοι αποδυναμώνουν το οστό με αποτέλεσμα τα κατάγματα κόπωσης. Η οστική ανακατασκευή (remodeling) είναι ο μηχανισμός επισκευής του οστού ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση αυτών των μικροτραυματισμών⁴⁹. Όλες αυτές οι παρατηρήσεις οδήγησαν στη «θεωρία του μηχανοστάτη», η οποία περιγράφει το σύστημα ελέγχου του οστού στο οποίο είναι απαραίτητη μια ελάχιστη καταπόνηση για την διατήρησή του. Έτσι σε χαμηλή επιβάρυνση δεν προκαλείται οστική ανακατασκευή, σε φυσιολογικές επιβαρύνσεις η ανακατασκευή διατηρεί το οστό σε σταθερή κατάσταση, σε υπερφόρτιση διεγείρεται η ανακατασκευή με αποτέλεσμα την εναπόθεση νέου οστού, ενώ σε παθολογικές υπερφορτίσεις

το οστό υφίσταται βλάβες. Το οστεοκύτταρο αντιλαμβάνεται την μηχανική φόρτιση και διαβιβάζει το σήμα στους οστεοβλάστες οι οποίοι παράγουν νέο οστό. Η ανακατασκευή ρυθμίζεται από τη διαφορά των δυνάμεων παραμόρφωσης στις οστικές επιφάνειες μετά τη φόρτιση. Η διαφορά αυτή μιμείται την πολικότητα των ηλεκτρικών δυνάμεων και έτσι τα παραγόμενα σήματα από τις δυνάμεις παραμόρφωσης μεταδίδονται μέσα στην οστέινη ουσία⁹².



Εικ. 2.1. Θεωρία μηχανοστάτη

Το σύνολο των δεδομένων από τις υπάρχουσες μελέτες σχετικά με την απόκριση των οστών στη σωματική άσκηση υποδεικνύουν ότι διέπεται από τις ακόλουθες αρχές:

1. *Αρχή της ειδικότητας.* Η μηχανική φόρτιση φαίνεται ότι είναι τοπικό φαινόμενο και για το λόγο αυτό η μέτρηση οστικής πυκνότητας πρέπει να γίνεται στο οστό το οποίο φορτίζεται κατά την άσκηση
2. *Αρχή της υπερφόρτισης.* Οι αλλαγές στο οστό επέρχονται μόνο όταν το προπονητικό ερέθισμα υπερβαίνει σε δύναμη την καθημερινή φόρτιση του οστού.

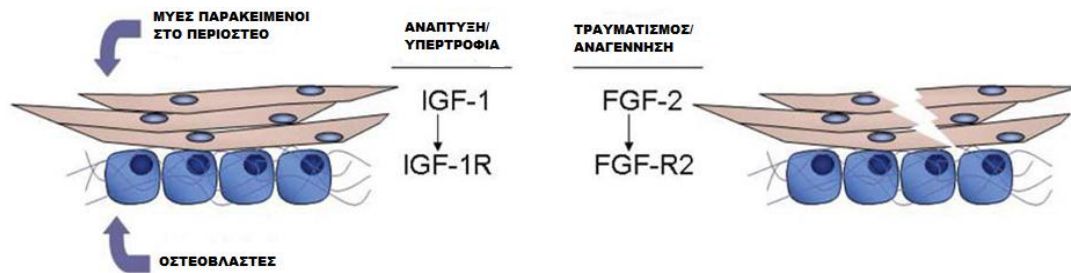
3. *Αρχή της αντιστρεψιμότητας*. Οι θετικές επιδράσεις της άσκησης στα οστά διατηρούνται για όσο χρόνο συνεχίζεται η άσκηση. Μόλις διακοπεί χάνονται και τα θετικά αποτελέσματα.

4. *Αρχή των αρχικών τιμών*. Όσο μεγαλύτερη είναι η αρχική οστική μάζα τόσο μικρότερη είναι η απόκρισή της στην άσκηση. Για το λόγο αυτό τα άτομα με μικρότερη οστική μάζα είναι αυτά που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αύξηση της οστικής πυκνότητας μετά από το προπονητικό ερέθισμα.

5. *Αρχή της προοδευτικά μειωμένης απόκρισης*. Τα οστά έχουν ένα γενετικά καθορισμένο όριο οστικής πυκνότητας. Όσο το όριο αυτό πλησιάζει τόσο μειώνεται ο ρυθμός αύξησης της οστικής μάζας¹.

2.1.3 Ο ρόλος των αυξητικών παραγόντων των μυών στο σχηματισμό οστού

Η μηχανική φόρτιση πιστεύεται πως είναι ο κύριος μηχανισμός με τον οποίο η μυϊκή μάζα φαίνεται να επηρεάζει στη δημιουργία οστού. Ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της βιβλιογραφίας υποστηρίζει αυτή την εμβιομηχανική σχέση μεταξύ οστού και μυός καθώς οποιαδήποτε αιτία μπορεί να προκαλέσει μυϊκή παράλυση μειώνει την εναπόθεση ασβεστίου στα οστά και τη διάμετρο διατομής τους⁵⁶. Μελέτες ωστόσο έχουν αναδείξει ότι ο μυς μπορεί επίσης να επηρεάσει το μεταβολισμό των οστών με την έκκριση και ανάπτυξη τοπικών παραγόντων που έχουν τη δυνατότητα να προκαλούν οστεογένεση (εικ.2.2.).



Εικ.2.2. Παράγοντες που προάγουν την οστεογένεση προερχόμενοι από τους μύες. (Γενικευμένο μοντέλο που δείχνει την αλληλεπίδραση μεταξύ μυών και οστών. Η μυϊκή ανάπτυξη και υπερτροφία οδηγεί στην έκκριση IGF-1, η οποία διεγείρει το σχηματισμό οστού μέσω οστεοπρογονικών κυττάρων που βρίσκονται στο περίοστεο τα οποία εκφράζουν την IGF-R1. Μυϊκοί μικροτραυματισμοί κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης ή τραυματικές βλάβες των μυών από εξωτερικούς παράγοντες προάγουν την απελευθέρωση της IGF-2, η οποία επάγει το σχηματισμό οστού και διεγείρει την επούλωση του κατάγματος μέσω οστεοπρογονικών κυττάρων που εκφράζουν την IGF-R2.)

Η υπόθεση αυτή ενισχύθηκε με την πρόσφατη μελέτη του Kaufman και των συνεργατών του η οποία απέδειξε ότι όταν μεμβράνες νιτροκυτταρίνης παρεμβάλλονταν μεταξύ των μυών και του τραυματισμένου οστού η επούλωση βελτιώνονταν αν το μέγεθος του πώρου ήταν αρκετά μεγάλο για τη διάχυση των αυξητικών παραγόντων. Κατέληξαν ότι η οστεογένεση και οι δραστηριότητες του οστικού μεταβολισμού επάγονται από μεταβολίτες που παράγονται από τους παρακείμενους μύες⁸⁶. Ο μηχανισμός αυτός της σηματοδότησης εξηγεί έναν αριθμό καταστάσεων στις οποίες οι μύες έχουν παρατηρηθεί να επάγουν τον σχηματισμό οστού ανεξάρτητα από τη μηχανική φόρτιση. Για παράδειγμα, κατάγματα που καλύπτονται με σχετικά ακέραιους μύες επουλώνονται πιο γρήγορα από κατάγματα που περιβάλλονται από πιο σοβαρές μυϊκές βλάβες¹⁶³. Ακόμη τα αυτόλογα οστικά μοσχεύματα φαίνεται να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά όταν καλύπτονται από μύες και όχι από δέρμα ή άλλου είδους ιστό¹³³. Τέλος, η μυϊκή βλάβη φαίνεται να διεγείρει τον πολλαπλασιασμό οστεοπρογονικών κυττάρων στο περίοστεο στο σημείο επαφής μεταξύ οστού και μύος¹¹⁵.

Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι αυξητικοί παράγοντες όπως η IGF-1 και FGF-2 διεγείρουν τον σχηματισμό οστού. Σύγχρονες μελέτες έδειξαν ότι οι μυϊκές ίνες εκκρίνουν αυτούς τους παράγοντες με κύριο σημείο εντόπισης το σημείο επαφής μυ και οστού. Η έκκριση τους αυξάνεται όταν υπάρχουν στοιχεία τραυματισμού ή αναγέννησης του μυός αλλά και στην μυϊκή σύσπαση. Με τον τρόπο αυτό η άσκηση μπορεί να αυξήσει την παρουσία των αυξητικών παραγόντων στα οστά και κατά συνέπεια την δημιουργία οστικής μάζας⁹⁹.

Επομένως τα ερεθίσματα εκτός από μηχανικά είναι και βιολογικά και δρουν συνεργικά στα οστά γνώση που αναδεικνύει τη σημασία της μυϊκής μάζας στη διατήρηση της οστικής μάζας.

2.1.4. Είδος άσκησης και οστική πυκνότητα

Είναι μέχρι στιγμής άγνωστο ποιο συστατικό του μηχανικού φορτίου έχει την ισχυρότερη αναβολική επίδραση στα οστά. Το είδος, η ένταση, η συχνότητα και η χρονική διάρκεια του φορτίου φαίνεται να παίζουν καθοριστικό ρόλο. Οσοδήποτε σε πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί αποδείχθηκε πως ο σχηματισμός νέου οστού εξαρτάται λιγότερο από τη διάρκεια της μηχανικής καταπόνησης και περισσότερο με το μέγεθος και τη συχνότητα του μηχανικού ερεθίσματος¹¹¹. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τον μεταβολισμό των οστών είναι οι δυνάμεις παραμόρφωσης που ασκούνται στα οστά κατά την σύσπαση των μυών. Το οστό οδηγείται σε τοπική προσαρμογή κυρίως στα σημεία που ασκείται η μεγαλύτερη δύναμη όπως είναι καταφύσεις των τενόντων. Για το λόγο αυτό αθλητές που δέχονται υψηλότατα φορτία όπως αυτοί της άρσης βαρών παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές οστικής πυκνότητας¹⁶¹. Δυστυχώς όμως η σωματική άσκηση δεν έχει πάντα θετικά αποτελέσματα στον μεταβολισμό των οστών. Κάτω από ορισμένες συνθήκες ακόμα και αθλητές με υψηλό προπονητικό επίπεδο μπορεί να παρουσιάζουν αρνητικό ισοζύγιο οστικού μεταβολισμού. Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός μελετών που περιγράφει χαμηλή οστική πυκνότητα ιδίως σε αθλήματα όπου το σωματικό βάρος μπορεί να μεταβληθεί εξαιτίας του μεγάλου προπονητικού

όγκου ή σε αθλήματα όπου το σωματικό βάρος μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα για την απόδοση (δρομείς μεγάλων αποστάσεων και ποδηλάτες)¹²².

Σε εργασίες εγκάρσιας τομής με αντικείμενο αθλητές πολλών αθλημάτων αποδείχθηκε πως τα αθλήματα με σημαντικές μηχανικές φορτίσεις έχουν το μεγαλύτερο οστεογενετικό αποτέλεσμα. Οι μηχανικές φορτίσεις έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην οστική πυκνότητα ακόμα και αν είναι μικρής διάρκειας. Αθλήματα με υψηλό προπονητικό επίπεδο αλλά χαμηλές φορτίσεις έχουν μηδενικό ή ελάχιστο αποτέλεσμα στην αύξηση της οστικής πυκνότητας.

	ΑΘΛΗΜΑ	ΔΕΙΓΜΑ	ΟΣΤΟ	ΑΠΟΤΕΛ ΕΣΜΑΤΑ
Andreoli et al⁴	Judo	Άνδρες (n=12;23±3)	Άνω Άκρα	+18
	Karate	(n=14;22±4)	Κάτω Άκρα	+11.3
	Υδατοσφαίριση	(n=24;22±3)	Άνω Άκρα	+9
	Ομάδα Ελέγχου	(n=12;23±3)		
Block et al¹⁵	Υδατοσφαίριση	Άνδρες (n=20;22±2)	Θ12-Ο3 _(ολικό) Μηρός	+10 +10
	Άρση Βαρών	(n=19;25±3)	Θ12-Ο3 _(ολικό) Μηρός	+10 +8
	Ομάδα Ελέγχου	(n=20;26±3)		
Heinonen et al⁶⁵	Άρση Βαρών	Γυναίκες (n=18;25±5)	Κερκίδα	+29
			Γόνατο	+21

	Ορειβασία	(n=30;23±3)	Μηριαίο Ο2-Ο4	+19 +15
	Σκι	(n=28;21±3)	Μηριαίο Κνήμη Αστράγαλος	+5 +4 +4
	Ποδηλασία	(n=29;24±6)	Γόνατο Μηριαίο Κνήμη Αστράγαλος Ο2-Ο4	+3 +5 +3 +3 0
	Ομάδα Ελέγχου	(n=25;23±3)	Κερκίδα Μηριαίο Μηριαίο(κεφαλή) Αστράγαλος	+5 +2 -2 -2
Heinich et al⁶⁶	Body Building	Γυναίκες (n=11;26±5)	Μηριαίο (τρίγωνο Ward)	+23
	Κολύμβηση	(n=13;22±3)	Μηριαίο (κεφαλή) Κερκίδα Ο2-Ο4 Κερκίδα	+15 +16 +12 +3
	Δρόμοι Αποστάσεων	(n=5;20±1)	Μηριαίο (τρίγωνο Ward) Μηριαίο (κεφαλή) Ο2-Ο4	0 +8 +5
			Μηριαίο (τρίγωνο Ward) Κερκίδα	+3 -3

	Τρέξιμο (ερασιτεχνικά)	(n=11;30±5)	Ο2-Ο4 Μηριαίο (κεφαλή) Μηριαίο (τρίγωνο Ward) Κερκίδα	+4 0 -1 -5
	Ομάδα Ελέγχου	(n=18;25±4)		
Jacobson et al⁷³	Αντισφαίριση	Γυναίκες (n=11;18-22)	Μετατάρσια Ο2-Ο4 Κερκίδα	+23 +11 +4
	Κολύμβηση	(n=23;18-22)	Μετατάρσια Κερκίδα	+10 +3
	Ομάδα Ελέγχου	(n=17;18-22)	Ο2-Ο4	-3
Kirk et al⁹¹	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων	Γυναίκες (n=10;20-35)	Θ12-Ο3 Κερκίδα	+12 +1
	Ομάδα Ελέγχου	(n=10;20-35)		
Liu et al¹⁰⁰	Άλμα εις Ύψος	Άνδρες (n=12;20±1)	Κνήμη (ολικό)	-1.7
	Κολύμβηση	(n=15;20±1)		-6.1
	Ομάδα ελέγχου	(n=10;20±2)		
Liu et al¹⁰⁰		Γυναίκες	Κνήμη (ολικό)	

	Άλμα εις Ύψος Κολύμβηση Ομάδα ελέγχου	(n=13;20±1) (n=15;19±1) (n=15;20±1)		+0.8 -13.2
Nilsson and Westlin ¹²³	Άρση βαρών Ρίψεις Δρόμοι Ποδόσφαιρο Κολύμβηση Ομάδα Ελέγχου	Άνδρες (n=11;21±8) (n= 4; 24±3) (n=25;22±7) (n=15;25±5) (n= 9;18±5) (n=15;23±5)	Μηριαίο	+47 +42 +40 +39 +35
Risser et al ¹³⁶	Πετοσφαίριση Καλαθοσφαίριση Κολύμβηση Ομάδα Ελέγχου	Γυναίκες (n=12;20±5) (n= 9;20±3) (n=10;18±4) (n=13;20±5)	Αστράγαλος Ο2-Ο4 Αστράγαλος Ο2-Ο4 Αστράγαλος Ο2-Ο4	+21 +11 +29 +7 -11 -11
Suominen and Rahkila ¹⁵²	Δρόμοι Ταχύτητας Δρόμοι Μεγάλων αποστάσεων Άρση Βαρών Ομάδα Ελέγχου	Άνδρες (n=16;70-81) (n=67;70-81) (n=14;70-79) (n=42;70-81)	Αστράγαλος	+23 +19 +19
Wolman et al ¹⁷³	Δρόμοι Κωπηλασία	Γυναίκες (n=21;25-28) (n=36;24-26)	Μηριαίο	+8 +2

	Χορός Ομάδα ελέγχου	(n=10;21-25) (n=13;27-30)		-1
--	------------------------	------------------------------	--	----

Πιν.3. Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα (μεικτές εργασίες)

	ΑΘΛΗΜΑ	ΔΕΙΓΜΑ	ΟΣΤΟ	ΤΙΜΕΣ
Aloia et al³	Μαραθώνιος Ομάδα Ελέγχου	Άνδρες Δρομείς (n=30;42±8) (n=16;45±8)	Κερκίδα	+4
Bilanin et al¹⁴	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων Ομάδα Ελέγχου	Άνδρες Δρομείς (n=13;29±4) (n=11;27±4)	Ο2-Ο4 Κνήμη Κερκίδα	-10 +3 -1
Dalen et al³⁷	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων Ομάδα Ελέγχου	Άνδρες Δρομείς (n=15;50-59) (n=24;45-59)	Χέρι Ο3 Μηριαίο Αστράγαλος	+19 +9 +13 +21
Harber et al⁶²	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων Ομάδα Ελέγχου	Γυναίκες Δρομείς Εμμηνορροϊκές (n=17;27±5) Αμηνόρροϊκές (n=11;26±6) (n=14;27±7)	Αστράγαλος	-2
Suominen		Άνδρες		

et al ¹⁵³	Αντισφαίριση (κυρίαρχο χέρι)	(n=20;19-34)	Βραχιόνιο, διάφυση	+25
	Ομάδα Ελέγχου (κυρίαρχο χέρι)	(n=20;20-37)	Βραχιόνιο, εγγύς Κερκίδα, άπω Κερκίδα, διάφυση Χέρι Ωλένη, άπω Ωλένη, διάφυση	+14 +11 +10 +8 +6 +3
Kirk et al ⁹¹	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων	Γυναίκες (n=10;20-35)	Θ12-Ο3 Κερκίδα	+12 +1
	Ομάδα Ελέγχου	(n=10;20-35)		
Lane et al ⁹⁶	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων	Άνδρες (n=8; 58)	Ο1	+44
	Ομάδα Ελέγχου	(n=8; 58)		
Lane et al ⁹⁶	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων	Γυναίκες (n=6; 58)	Ο1	+35
	Ομάδα Ελέγχου	(n=6; 58)		

Myerson et al ¹¹⁸	Δρόμοι	Γυναίκες Εμμηνορροϊκές Δρομείς (n=13;21-35)	Κάτω Άκρα Άνω Άκρα Ο2-Ο4	+5 +3 -5
		Αμηνόρροϊκές Δρομείς (n=13;21-35)	Κάτω Άκρα Άνω Άκρα Ο2-Ο4	-1 -5 -10
	Ομάδα ελέγχου	(n=12;21-35)		
Nelson et al ¹²¹	Δρόμοι Μεγάλων Αποστάσεων Ομάδα Ελέγχου	Γυναίκες (n=15;62±5)	Ο1-Ο3 Μηριαίο Κερκίδα	-2 -6 -5
		(n=18;61±6)		
Orwoll et al	Κολύμβηση Ομάδα Ελέγχου	Άνδρες (n=58;60±13)	Κερκίδα Θ12-Ο1	+4 +14
		(n=78;60±12)		
Orwoll et al ¹²⁷	Κολύμβηση Ομάδα Ελέγχου	Γυναίκες (n=41;55±10)	Κερκίδα Θ12-Ο1	+2 +2
		(n=41;53±9)		

Πιν.4. Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα (εργασίες που αφορούν ένα άθλημα)

	ΑΘΛΗΜΑ	ΔΕΙΓΜΑ	ΟΣΤΟ	ΑΠΟΤΕΛ ΕΣΜΑΤΑ
Andreoli et al⁴	Judo (Υ)	Άνδρες (n=12;23±3)	Άνω Άκρα	+18
	Karate (Υ)	(n=14;22±4)	Κάτω Άκρα	+11.3
	Υδατοσφαίριση (Χ)	(n=24;22±3)	Άνω Άκρα	+9
	Ομάδα Ελέγχου	(n=12;23±3)		
Block et al¹⁵	Υδατοσφαίριση (Χ)	Άνδρες (n=20;22±2)	Θ12-Ο3 _(ολικό) Μηρός	+10 +10
	Άρση Βαρών (Υ)	(n=19;25±3)	Θ12-Ο3 _(ολικό) Μηρός	+10 +8
	Ομάδα Ελέγχου	(n=20;26±3)		
Heinich et al⁶⁶	Body Building (Υ)	Γυναίκες (n=11;26±5)	Μηριαίο (τρίγωνο Ward)	+23
	Κολύμβηση (Χ)	(n=13;22±3)	Μηριαίο (κεφαλή)	+15
			Κερκίδα	+16
			Ο2-Ο4	+12
Δρόμοι Αποστάσεων (Υ)	(n=5;20±1)	Κερκίδα	+3	
		Μηριαίο (τρίγωνο Ward)	0	
		Μηριαίο (κεφαλή)	+8	
			Ο2-Ο4	+5

	<p>Τρέξιμο (ερασιτεχνικά) (Υ)</p> <p>Ομάδα Ελέγχου</p>	<p>(n=11;30±5)</p> <p>(n=18;25±4)</p>	<p>Μηριαίο (τρίγωνο Ward)</p> <p>Κερκίδα</p> <p>Ο2-Ο4</p> <p>Μηριαίο (κεφαλή)</p> <p>Μηριαίο (τρίγωνο Ward)</p> <p>Κερκίδα</p>	<p>+3</p> <p>-3</p> <p>+4</p> <p>0</p> <p>-1</p> <p>-5</p>
Jacobson et al⁷³	<p>Αντισφαίριση (Υ)</p> <p>Κολύμβηση (Χ)</p> <p>Ομάδα Ελέγχου</p>	<p>Γυναίκες (n=11;18-22)</p> <p>(n=23;18-22)</p> <p>(n=17;18-22)</p>	<p>Μετατάρσια</p> <p>Ο2-Ο4</p> <p>Κερκίδα</p> <p>Μετατάρσια</p> <p>Κερκίδα</p> <p>Ο2-Ο4</p>	<p>+23</p> <p>+11</p> <p>+4</p> <p>+10</p> <p>+3</p> <p>-3</p>
Liu et al¹⁰⁰	<p>Άλμα εις Ύψος (Υ)</p> <p>Κολύμβηση (Χ)</p> <p>Ομάδα ελέγχου</p>	<p>Άνδρες (n=12;20±1)</p> <p>(n=15;20±1)</p> <p>(n=10;20±2)</p>	<p>Κνήμη (ολικό)</p>	<p>-1.7</p> <p>-6.1</p>
Liu et al¹⁰⁰	<p>Άλμα εις Ύψος (Υ)</p> <p>Κολύμβηση (Χ)</p> <p>Ομάδα ελέγχου</p>	<p>Γυναίκες (n=13;20±1)</p> <p>(n=15;19±1)</p> <p>(n=15;20±1)</p>	<p>Κνήμη (ολικό)</p>	<p>+0.8</p> <p>-13.2</p>

Nilsson and Westlin¹²³	Άρση βαρών (Υ)	Άνδρες (n=11;21±8)	Μηριαίο	+47
	Ρίψεις (Υ)	(n= 4; 24±3)		+42
	Δρόμοι (Υ)	(n=25;22±7)		+40
	Ποδόσφαιρο (Υ)	(n=15;25±5)		+39
	Κολύμβηση (Χ)	(n= 9;18±5)		+35
	Ομάδα Ελέγχου	(n=15;23±5)		
Risser et al¹³⁶	Πετοσφαίριση (Υ)	Γυναίκες (n=12;20±5)	Αστράγαλος Ο2-Ο4	+21 +11
	Καλαθοσφαίριση (Υ)	(n= 9;20±3)	Αστράγαλος Ο2-Ο4	+29 +7
	Κολύμβηση (Χ)	(n=10;18±4)	Αστράγαλος Ο2-Ο4	-11 -11
	Ομάδα Ελέγχου	(n=13;20±5)		
Wolman et al¹⁷³	Δρόμοι (Υ)	Γυναίκες (n=21;25-28)	Μηριαίο	+8
	Κωπηλασία (Χ)	(n=36;24-26)		+2
	Χορός (Χ)	(n=10;21-25)		-1
	Ομάδα ελέγχου	(n=13;27-30)		

Πιν.5. Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα (σύγκριση αθλημάτων υψηλών(Υ)-χαμηλών(Χ) μηχανικών φορτίσεων)

*Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως ποσοστιαία διαφορά μεταξύ κάθε ομάδας αθλητών και της ομάδας ελέγχου.

Με βάση το σύνολο των ερευνητικών πρωτοκόλλων που διερευνήθηκαν παρατηρήθηκε πως το μεγαλύτερο οστεογενικό αποτέλεσμα παρουσίαζαν τα ατομικά αθλήματα με υψηλά μηχανικά φορτία όπως η άρση βαρών, οι ρίψεις και οι δρόμοι μεγάλων αποστάσεων με τα ομαδικά όπως η καλαθοσφαίριση

και το ποδόσφαιρο να ακολουθούν. Αρνητικό ισοζύγιο παρουσίαζαν ατομικά αθλήματα με χαμηλά μηχανικά φορτία όπως η κολύμβηση και η ποδηλασία.

2.1.5. Μονομερής επιβάρυνση και Οστική Πυκνότητα.

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε αθλήματα που περιλαμβάνουν χρήση ενός άκρου ανέδειξαν ότι η επίδραση επαναλαμβανόμενων κινήσεων σε συνδυασμό με εξωτερικές δυνάμεις οδηγεί σε αλλαγές στην οστική πυκνότητα μεταξύ των άκρων²⁸. Αθλήματα τα οποία διεξάγονται με χρήση ρακέτας όπως η αντισφαίριση και η επιτοίχια αντισφαίριση οι αθλητές τους παρουσιάζουν μεγαλύτερη οστική πυκνότητα στο κυρίαρχο άκρο². Στην πετοσφαίριση, το κυρίαρχο χέρι που οι αθλητές πραγματοποιούν τις επιθετικές τους κινήσεις παρουσιάζει και αυτό αύξηση της BMD²⁸. Ακόμα μετρήσεις οστικής πυκνότητας σε αθλητές ενόργανης έδειξαν ότι το κυρίαρχο άνω άκρο παρουσίαζε υψηλότερες τιμές¹³¹. Αθλητές οι οποίοι ξεκίνησαν την ενασχόληση τους με τον αθλητισμό σε πολύ μικρή ηλικία εμφάνιζαν δυο με τέσσερις φορές μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ κυρίαρχου και μη κυρίαρχου άκρου σε σχέση με την ομάδα ελέγχου⁸².

Στο γενικό πληθυσμό οι διαφορές μεταξύ κυρίαρχου και μη κυρίαρχου χεριού είναι μικρότερες, ωστόσο είναι σημαντικές αναδεικνύοντας πως οι καθημερινές επαναλαμβανόμενες κινήσεις έχουν οστεογενή αποτελέσματα²⁸. Το φύλο δεν φαίνεται να σχετίζεται με την ασυμμετρία της BMD στα άκρα²⁴. Σε μελέτες με άρρενες αθλητές αντισφαίρισης το κυρίαρχο χέρι παρουσίαζε 13-25% αύξηση σε σχέση με την ομάδα ελέγχου που ήταν γενικός πληθυσμός. Οι διαφορές αυτές παρέμειναν ακόμα και τέσσερα χρόνια από την αποχώρησή τους από την ενεργό δράση⁹⁴.

Σε αθλήματα όπως το ποδόσφαιρο τα αποτελέσματα δείχνουν να διαφέρουν με το κυρίαρχο πόδι να παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ιδιαιτερότητα του αθλήματος που το μη κυρίαρχο πόδι αποτελεί σημείο στήριξης κατά τις επιθετικές προσπάθειες¹¹⁰. Παρόμοιες μελέτες με

αθλητές χειροσφαίρισης παρουσίασαν αντίστοιχα αποτελέσματα με το κυρίαρχο κάτω άκρο να υπολείπεται¹⁶⁶.

Όλα αυτά υποδεικνύουν ότι ο γιατρός θα πρέπει πάντα να προσμετρά την ιδιαιτερότητα του κάθε αθλήματος ξεχωριστά και να αναλύει την εμβιομηχανική καθώς και την τεχνική που απαιτεί το καθένα ώστε να αξιολογεί τα δεδομένα των μετρήσεων με επάρκεια.

2.2. Αθλητισμός και οστικοί δείκτες.

Εκτός των ραδιολογικών μεθόδων, πολλοί αιματολογικοί και ουρολογικοί βιοχημικοί δείκτες έχουν αναγνωρισθεί ως δείκτες οστικής μεταβολικής δραστηριότητας για την εκτίμηση των ποσοστών και της κατεύθυνσης των βιολογικών δραστηριοτήτων που διέπουν τον οστικό μεταβολισμό. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των δεικτών οστικού μεταβολισμού είναι ότι η χρήση τους είναι εν δυνάμει λιγότερο επικίνδυνη από τη χρήση μεθόδων με ακτινοβολία, είναι πιο ευαίσθητοι στις μεταβολές του μεταβολισμού των οστών, ενώ συλλέγονται και αναλύονται εύκολα. Τα μειονεκτήματα είναι ότι έχουν υψηλή βιολογική μεταβλητότητα. Οι βιοχημικοί δείκτες οστικού μεταβολισμού παρέχουν χρήσιμα κλινικά στοιχεία των διεργασιών που εκφράζουν την δραστηριότητα των κυττάρων του οστού καθώς αντανακλούν τη συνολική οστεοβλαστική και οστεοκλαστική δραστηριότητα¹⁴¹. Είναι γνωστό πως η άσκηση επιφέρει αύξηση του κύκλου εργασιών των οστών, γεγονός που αποδεικνύεται από την αύξηση των δεικτών οστικού σχηματισμού και των βασικών επιπέδων των αναβολικών ορμονών που επηρεάζουν τα οστά μετά την άσκηση⁶⁹, καθώς οι δείκτες οστικού σχηματισμού είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην φυσική δραστηριότητα σε σχέση με τους δείκτες οστικής απορρόφησης⁶. Η διακύμανση των οστικών δεικτών έχει το πλεονέκτημα ότι προηγείται των μετρήσεων της οστικής πυκνομετρίας καθώς ο οστίτης ιστός προσαρμόζεται στα μηχανικά φορτία που δημιουργούνται κατά την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων ίδιων ή

παρόμοιων τύπων άσκησης. Η διαφορά αυτή αποτελεί πολύτιμο κλινικό εργαλείο στα προβλήματα του οστικού μεταβολισμού στους αθλητές⁷⁶.

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί χρησιμοποιούν σαν δείκτες αναφοράς της οστικής αναδόμησης την Οστεοκαλσίνη, την ολική Αλκαλική Φωσφατάση ορού και λιγότερο το Αμινοτελικό και το Καρβοξυτελικό προπεπτίδιο του προκολλαγόνου τύπου Ι. Σαν δείκτες οστικής απορρόφησης έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως Ν-τελοπεπτίδιο κολλαγόνου τύπου Ι, το C-τελοπεπτίδιο κολλαγόνου τύπου Ι και η Δεοξυπυριδινολίνη ορού.

Τα αποτελέσματα της άσκησης όσον αφορά τη διαδικασία της οστικής ανακατασκευής με βάση τους οστικούς δείκτες φαίνεται να σχετίζονται τόσο με την ένταση όσο και με την χρονική διάρκεια της δραστηριότητας²⁰. Σε μελέτη που έχει γίνει μεταξύ γενικού πληθυσμού, αθλητών χαμηλού επιπέδου (3-5 ώρες άσκηση/εβδομάδα) και αθλητών υψηλού επιπέδου προπόνησης (6-8 ώρες/εβδομάδα) βρέθηκε πως οι δείκτες οστικού σχηματισμού παρουσίασαν αξιοσημείωτη αύξηση μόνο στους αθλητές υψηλού επιπέδου προπόνησης²⁵. Επιπλέον σε αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αθλητές ποδοσφαίρου με 3 ώρες/εβδομάδα, 6 ώρες/εβδομάδα, 8 ώρες/εβδομάδα και 12 ώρες/εβδομάδα προπόνηση αντίστοιχα παρατηρήθηκε πως αύξηση της οστικής ανακατανομής παρουσίασαν μόνο αυτοί που προπονήθηκαν από 6 ώρες την εβδομάδα και πάνω⁸³.

Έχει παρατηρηθεί σε αθλητές με υψηλή μηχανική καταπόνηση όπως οι αθλητές άρσης βαρών που ακολουθούσαν συστηματική προπόνηση τουλάχιστον 14 ωρών την εβδομάδα παρουσιάστηκαν υψηλά επίπεδα τιμών Οστεοκαλσίνης⁸⁴. Αύξηση της Οστεοκαλσίνης παρατηρήθηκε και σε άλλες κατηγορίες αθλημάτων με υψηλά μηχανικά φορτία όπως η πετοσφαίριση¹²⁴ και το δέκαθλο¹⁰¹. Επιπλέον σε εργασία που αφορούσε αθλήτριες που γυμνάζονταν με αντιστάσεις³⁵ αποδείχτηκε πως μόνο οι αθλήτριες με υψηλή μυϊκή ενδυνάμωση (πάνω από 10 ώρες/εβδομάδα προπόνηση ενδυνάμωσης) εμφάνισαν αύξηση των τιμών Οστεοκαλσίνης. Το σύνολο αυτών των μελετών ενισχύει τη άποψη της αυξημένης οστεογένεσης στα οστά στα οποία ασκούνται υψηλά μηχανικά φορτία.

Σε ανάλυση που έγινε σε αθλητές μελετώντας οστικούς δείκτες αμέσως μετά την άσκηση, μια ώρα μετά την άσκηση και στο τέλος της ημέρας βρέθηκε πως τα επίπεδα της Οστεοκαλσίνης είχαν σχετικά καθυστερημένη απόκριση (60 λεπτά μετά την άσκηση) ενώ τα επίπεδα της ολικής αλκαλικής φωσφατάσης είχαν άμεση απόκριση στην άθληση με αύξηση 15,3% αμέσως μετά την άσκηση η οποία συνεχιζόταν μέχρι το τέλος της ημέρας. Αναλύθηκαν ακόμα τα επίπεδα του C-τελικού προπεπτιδίου κολλαγόνου τύπου I που παρουσίαζαν σημαντική αύξηση κατά την άσκηση (+14,1%) αλλά στη συνέχεια είχαν σημαντική μείωση στη διάρκεια της ημέρας (-5,2%). Τέλος στην ίδια εργασία αναλύθηκαν και δείκτες οστικής απορρόφησης όπως το τελοπεπτιδίο κολλαγόνου τύπου I που εμφάνισαν αύξηση (+9,7%) τόσο κατά την άσκηση όσο και μέχρι το τέλος της ημέρας¹³⁸.

Σε μελέτες που εξέταζαν αθλητές αντοχής με μικρή ένταση άσκησης και αθλητές με έντονη εκρηκτική άσκηση δεν βρέθηκαν αξιοσημείωτα αποτελέσματα όσον αφορά τις άμεσες μεταβολές στις τιμές των οστικών δεικτών¹⁷¹. Προηγούμενες μελέτες που χρησιμοποιούν μικρής διάρκειας και υψηλής έντασης άσκηση δεν έδειξαν αύξηση των PICP ως απόκριση προς την άσκηση. Οι μελέτες αυτές υποδηλώνουν ότι η διάρκεια της άσκησης αποτελεί το σημαντικό στοιχείο στην απόκριση των δεικτών στην άσκηση. Επιπλέον, μη ελεγχόμενες μελέτες των καθυστερημένων επιπτώσεων της άσκησης δείχνουν είτε μείωση στο σχηματισμό οστού μετά από μαραθώνιο τρέξιμο¹⁰³, είτε αύξηση του οστικού μεταβολισμού 24-48h μετά την δραστηριότητα²¹.

Συμπερασματικά, παρά τα αντιφατικά αποτελέσματα μεταξύ των μελετών, οι περισσότερες έχουν δείξει ότι η μικρής διάρκειας άσκηση δεν προκαλεί τροποποίηση στις συγκεντρώσεις στον ορό των δεικτών μεταβολισμού των οστών. Οι αλλαγές στους δείκτες είναι πιο εμφανείς μετά από αρκετές ώρες ή ημέρες άσκησης. Ακόμα οι δείκτες σχηματισμού του οστού είναι πιο ευαίσθητοι από τους δείκτες οστικής απορρόφησης ενώ τέλος η υψηλή βιολογική μεταβλητότητα τους καθιστά αναγκαία την εκπόνηση περαιτέρω ερευνών σε επίπεδο αθλητών.

	ΔΕΙΓΜΑ	ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΣΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ
Jurimae et al⁷⁶	Άνδρες Κωπηλάτες(n=12;20-8±3.0 y)	Συνήθης Προπόνηση 16.8 ώρες/εβδ.	OC↑ (+16.6%)
Karlsson et al⁸³	Άνδρες Ποδοσφαιριστές 1 ^η κατηγορία (n=24;22.6±0.6y) 3 ^η κατηγορία (n=19;22±0.7y) 6 ^η κατηγορία (n=20;23.9±0.9y) Ομάδα ελέγχου (n=27;23.3±1.1y)	Συνήθης Προπόνηση 12 ώρες/εβδ 8 ώρες/εβδ 6 ώρες/εβδ <3 ώρες/εβδ	OC↑ (+29.6%) στους ποδοσφαιριστές Vs Ομάδα Ελέγχου Αύξηση οστικής ανακατανομής στους ποδοσφαιριστές με >6 ώρες/εβδ προπόνηση
Karlsson et al⁸⁴	Άνδρες Αρσιβαρίστες (n=19;25±9y) Ομάδα ελέγχου (n=19;26±7y)	14±6 ώρες/εβδ Χωρίς συστηματική άσκηση	OC↑ (+35%) στους Αρσιβαρίστες Vs Ομάδα Ελέγχου
Nishiyama et al¹²⁴	Άνδρες Πετοσφαιριστές (n=9;21.5y) Ομάδα ελέγχου (n=10;21.5y)	10 ώρες/εβδ Χωρίς συστηματική άσκηση	OC↑ (+97%) στους Πετοσφαιριστές Vs Ομάδα Ελέγχου
Maimoun et al¹⁰¹	Άνδρες Δεκαθλητές (n=13;22.4±2.9y) Ομάδα ελέγχου (n=13; 25.8±3.3y)	15.5 ώρες/εβδ <2 ώρες/εβδ	OC↑ (+59.8%) στους Δεκαθλητές Vs Ομάδα Ελέγχου
Creighton	Γυναίκες		OC↑ μόνο σε

et al³⁵	Υψηλή μουσική ενδυνάμωση (n=14;19.9±0.3y) Μέτρια μουσική ενδυνάμωση (n=13;20.6±0.3y) Καθόλου μουσική ενδυνάμωση (n=7;19.4±0.6y) Ομάδα ελέγχου (n=7;22.9±0.6y)	10-13 ώρες/εβδ 6-14ώρες/εβδ <1 ώρα/εβδ	αθλήτριες με >10 ώρες/εβδ προπόνηση
Brahm et al²¹	Αθλητές αντοχής (n=23 Άνδρες, 7 Γυναίκες; 32y) Ομάδα ελέγχου (n=23 Άνδρες, 7 Γυναίκες;32y)	7 ώρες/εβδ Όχι συστηματική άσκηση	↑ οστικού μεταβολισμού 24-48h μετά την δραστηριότητα

Πιν.6. Αποτελέσματα Άσκησης στην Οστική Ανακατανομή (βιοχημικοί δείκτες)

Κεφάλαιο 3

Ειδικά Θέματα

3.1 Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες

Η μείωση στη συγκέντρωση των οιστρογόνων μετά από την εμμηνόπαυση προκαλεί σταδιακή μείωση της οστικής πυκνότητας η οποία οδηγεί σε οστεοπόρωση¹³². Στην διάρκεια των πρώτων ετών μετά την εμμηνόπαυση παρατηρείται ταχεία απώλεια οστικής μάζας 2 -3% ετησίως, ενώ η μυϊκή ισχύς έχει αρχίσει να μειώνεται από τα 25 έτη¹³⁴. Η απώλεια αυτή πλήττει κυρίως τα σπογγώδη οστά τα οποία και χαρακτηρίζονται από υψηλότερο ρυθμό ανακατασκευής. Μέσα στα πρώτα χρόνια μετά την εμμηνόπαυση, τα σπογγώδη οστά της σπονδυλικής στήλης χάνουν περίπου το 5% με 20% των μετάλλων τους με αποτέλεσμα τα περισσότερα οστεοπορωτικά κατάγματα να συμβαίνουν σε αυτό το σημείο⁴¹. Διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έδειξαν πως ο ρυθμός μείωσης της οστικής πυκνότητας ήταν σημαντικά μικρότερος στις γυναίκες που είχαν αθλητικές δραστηριότητες^{18,38,58,139,148,153}. Ένας σημαντικός αριθμός ερευνών ανέδειξε πως η οστική πυκνότητα μπορεί να αυξηθεί ακόμα και σε άτομα με διαπιστωμένη οστεοπόρωση^{13,27}. Ωστόσο νεότερες εργασίες παρουσίασαν ότι τα οφέλη από την αθλητική δραστηριότητα ήταν προσωρινά και ότι για την διατήρησή τους η δραστηριότητα πρέπει να είναι συνεχής⁷¹. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με διαφορετικά είδη άσκησης και με διαφορετικά σημεία μέτρησης της οστικής πυκνότητας οδήγησαν σε χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την ωφέλεια της άσκησης. Η άσκηση που έχει από μέτρια ως και υψηλή ένταση έχει και τα πιο σημαντικά αποτελέσματα στην αύξηση της οστικής μάζας, ενώ η χαμηλής έντασης άσκηση φαίνεται απλά να περιορίζει τις περαιτέρω απώλειες οστού (πιν.).

Είδος Άσκησης	Οστική Πυκνότητα	Σημείο Μέτρησης	Μελέτη
Βάδιση	Προφυλάσσει από περαιτέρω απώλειες	Ισχία, ΟΜΣΣ	Brooke-Wavell et al ²²
Αερόβια Άσκηση Χαμηλής Έντασης	Προφυλάσσει από περαιτέρω απώλειες	Ισχία, ΟΜΣΣ	Friedlander et al ⁴⁸ , Robinson et al ¹³⁹ , Bassey et al ⁸ , Snow-Harter et al ¹⁵⁰ , Hartard et al ⁶³ , Chien et al ²⁷
Αερόβια Άσκηση υψηλής Έντασης	Αύξηση	Ισχία, ΟΜΣΣ	Heinonen et al ⁶⁴ , Chow et al ²⁹ , Bassey et al ⁸
Ασκήσεις με Αντιστάσεις	Αύξηση	Ισχία, ΟΜΣΣ, κερκίδα	Colletti et al ³² , Davee et al ³⁹ , Nelson et al ¹²¹ , Kerr et al ⁸⁸
Τρέξιμο	Αύξηση	Ισχία, ΟΜΣΣ	Lane et al ⁹⁶ , Dalen et al ³⁷
Επιτοίχια Αντισφαίριση	Αύξηση	Ισχία, ΟΜΣΣ	Heinonen et al ⁶⁴

Πιν7. Είδη άσκησης και επίδραση τους στην οστική πυκνότητα.

Ακόμα σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες η επίδραση της άσκησης έχει κυρίως τοπικό χαρακτήρα. Η άθληση που περιλαμβάνει τρέξιμο ή περπάτημα που προκαλεί ερεθίσματα και κραδασμούς φαίνεται να προκαλεί αύξηση της οστικής πυκνότητας των κάτω άκρων, όχι όμως και των άνω. Επιπλέον αν και όλες οι αθλητικές δραστηριότητες έχουν φανερά καρδιαγγειακά οφέλη, δεν προκαλούν όλες αύξηση της οστικής πυκνότητας. Τόσο η ποδηλασία όσο και η κολύμβηση δεν φαίνεται να ασκούν κάποια θετική επίδραση στην οστική πυκνότητα (Friedlander AL, Snow, Bassey). Από μεγάλες επιδημιολογικές

μελέτες επίσης φάνηκε ότι η άσκηση ασκεί προστατευτική δράση απέναντι στα οστοπορωτικά κατάγματα κυρίως του ισχίου.

Παρά την καθολικότητα των αποτελεσμάτων όλων των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τα οφέλη της άθλησης, μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στο είδος της άθλησης στους οστοπορωτικούς ασθενείς. Ασκήσεις που απαιτείται μεγάλη κάμψη του κορμού ή στροφική κίνηση μπορούν να προκαλέσουν σπονδυλικά κατάγματα και πρέπει να αποφεύγονται, όπως επίσης και αθλήματα που απαιτούν εκρηκτικές κινήσεις⁴⁷.

3.2. Επίδραση της άσκησης στην οστική πυκνότητα νεαρών αθλητών.

Η σωματική άσκηση στην παιδική και εφηβική ηλικία αποτελεί βασικό συστατικό για την απόκτηση όσο το δυνατό μεγαλύτερης μεγίστης οστικής μάζας, που είναι πρωτεύον παράγοντας της υγείας των οστών για τα επόμενα έτη της ζωής του ανθρώπου. Η κορύφωση της οστικής πυκνότητας επιτυγχάνεται μεταξύ της εφηβείας και το τέλος της τρίτης δεκαετίας, ενώ η συνολική ωρίμανση του σκελετού ολοκληρώνεται κατά την έναρξη της ενηλικίωσης στο 17^ο και 18^ο έτος¹⁰⁸. Η επίδραση της άσκησης στον αναπτυσσόμενο σκελετό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέου οστίτη ιστού και αύξηση της διαμέτρου του οστού στην προσπάθεια προσαρμογής του στην επιβάρυνση. Το οστό απαντά τόσο στην αύξηση όσο και στην ελάττωση της μηχανικής φόρτισης. Από πολλές μελέτες προκύπτει ότι εμφανίζονται υψηλότερες τιμές οστικής πυκνότητας σε αθλούμενους διαφόρων ηλικιών που υποβάλλονται σε προπόνηση δύναμης ή σε κατακόρυφες φορτίσεις του σκελετού⁵.

Πολλές μελέτες παρακολούθησης στο παρελθόν, αναφέρουν υψηλότερες τιμές της οστικής πυκνότητας σε σωματικά δραστήριους νεαρούς αθλητές και αθλήτριες σε σύγκριση με νεαρούς μη αθλητές^{105,157}. Μερικοί ερευνητές αναφέρουν ακόμα πως η σωματική άσκηση είναι πιο σημαντική ακόμα και

από την διαιτητική πρόσληψη ασβεστίου για την επίτευξη της μέγιστης οστικής πυκνότητας¹⁶.

Οι νεαροί αθλητές επίσης φαίνεται να παρουσιάζουν και κάποιες ορμονικές προσαρμογές. Σε εγκάρσια τομή μελέτες οι αυξητικοί παράγοντες παρουσιάζουν συσχέτιση με την οστική μάζα των αθλητών, επιβεβαιώνοντας την ισχυρή επίδραση της αυξητικής ορμόνης (GH), της IGF-1 και των γοναδοτροπίνων στην απόκτηση οστικής μάζας¹⁴⁹. Οι συντονισμένες δράσεις της αυξητικής ορμόνης (GH), IGF-1, και των γοναδοτροπινών είναι υπεύθυνες για το χρονοδιάγραμμα της διαδικασίας μοντελοποίησης των οστών και της απόκτησης οστικής μάζας μέσω μιας πολύπλοκης αλληλουχίας τροποποιήσεων που αλληλεπιδρούν με περιβαλλοντικούς παράγοντες¹⁰⁸.

Ωστόσο, πολλές νεαρές αθλήτριες λόγω της έντονης σωματικής άσκησης παρουσιάζουν είτε καθυστερημένη εμμηναρχή, είτε αναπτύσσουν διαταραχές της έμμηνου ρήσεως όπως ολιγομηνόρροια και αμηνόρροια που είναι γνωστό πως είναι επιβλαβείς για την σκελετική υγεία^{54,117}.

Τα αποτελέσματα της επίδρασης διαφορετικών αθλημάτων στην οστική πυκνότητα φαίνεται να συμφωνούν με αυτά των ενηλίκων. Τα αθλήματα με μεγάλες φορτίσεις όπως η καλαθοσφαίριση, η χειροσφαίριση και η γυμναστική συνδέονται με αυξημένες τιμές οστικής πυκνότητας, σε αντίθεση με την κολύμβηση^{35,155}.

Συμπερασματικά, η άσκηση σε παιδική και εφηβική αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο για την απόκτηση της μέγιστης οστικής πυκνότητας, θα πρέπει ωστόσο να γίνεται υπό την σωστή καθοδήγηση και έλεγχο. Προτείνεται η συμμετοχή των παιδιών και εφήβων σε δραστηριότητες που προάγουν την καλή φυσική κατάσταση. Το πρόγραμμα άσκησης πρέπει να περιλαμβάνει ποικιλία δραστηριοτήτων κυρίως με αερόβιες ασκήσεις και λιγότερο με μέτρια προπόνηση δύναμης. Η συχνότητα της άσκησης πρέπει να κυμαίνεται από 3 ημέρες την εβδομάδα έως και κάθε μέρα¹¹³.

3.3. Γυναικεία Αθλητική Τριάδα

Η γυναικεία αθλητική τριάδα (**female athlete triad**), είναι ένα σύνδρομο που επηρεάζει πολλές γυναίκες και κορασίδες που ασχολούνται εντατικά με τον αθλητισμό. Ονομάζεται τριάδα, επειδή περιέχει τα συμπτώματα τριών ασθενειών, της διαταραγμένης διατροφής, της αμηνόρροιας και της οστεοπόρωσης⁶⁸. Οι καταστάσεις αυτές είναι αλληλένδετες και καθορίζουν την σοβαρότητα της κατάστασης. Έτσι, εάν μια αθλήτρια πάσχει από ένα στοιχείο της Τριάδας, είναι πιθανό ότι πάσχει και από τα άλλα δύο συστατικά της τριάδας¹⁶⁰. Με την αύξηση της συμμετοχής των γυναικών στον αθλητισμό η συχνότητα εμφάνισης αυτής της τριάδας των διαταραχών έχει αυξηθεί. Αυτό οδήγησε σε μια εν τω βάθει μελέτη του συνδρόμου όσον αφορά τα συμπτώματα, τους παράγοντες κινδύνου, τις αιτίες και τη θεραπεία του. Η τριάδα είναι περισσότερο συχνή σε αθλήτριες που συμμετέχουν σε αθλήματα τα οποία προωθούν το χαμηλό σωματικό βάρος και χαμηλή περιεκτικότητα σωματικού λίπους όπως είναι η γυμναστική, το μπαλέτο, η παγοδρομία, οι καταδύσεις, ο χορός και το καλλιτεχνικό πατινάζ. Στις αθλήτριες αυτές η περιεκτικότητα του σωματικού λίπους είναι πολλές φορές λιγότερο από 17%, που είναι και το φυσιολογικό όριο της εμμήνου ρύσεως¹²⁸.

Διαταραγμένη Διατροφή.

Ο όρος αυτός αφορά τις αθλήτριες που παρουσιάζουν χαμηλή διαθεσιμότητα σε ενέργεια λόγω χαμηλής θερμιδικής πρόσληψης ή αυξημένης δαπάνης ενέργειας κατά την άθληση η οποία όμως δεν καλύπτεται διατροφικά. Η διαταραγμένη διατροφή που συνοδεύει την γυναικεία τριάδα αθλητής μπορεί να κυμαίνεται από την αποφυγή ορισμένων τροφίμων που περιέχουν λίπος σε σοβαρές διατροφικές διαταραχές όπως η νευρική ανορεξία ή η βουλιμία⁴². Οι διαταραχές αυτές είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας πολλών αθλητριών να επιτύχουν ένα υπερβολικά χαμηλό σωματικό βάρος με μεθόδους όπως η παρατεταμένη νηστεία, η χρήση διαιτητικών χαπιών η χρήση διουρητικών και καθαρτικών, η χρήση διουρητικών αλλά και η αυτοπροκαλούμενη έμμεση, με σκοπό τη μικρότερη δυνατή πρόσληψη θερμίδων και βάρους. Η χαμηλή διαιτητική ενέργεια σε

συνδυασμό με την υπερβολική άσκηση δεν αφήνει αρκετή ενέργεια για το σώμα να εκτελέσει τις συνήθεις λειτουργίες όπως ο κύκλος της εμμήνου ρήσεως και η οστική ανακατασκευή¹²⁰. Η έγκαιρη παρέμβαση και η αποτελεσματική θεραπεία είναι επιτακτική καθώς η εξέλιξη της συγκεκριμένης διαταραχής δημιουργεί πολύ σοβαρά προβλήματα στην υγεία των αθλητριών.

Αμηνόρροια.

Αποτελεί το δεύτερο και πιο αναγνωρίσιμο συστατικό της τριάδας και είναι το τελικό στάδιο μιας διαταραχής της εμμήνου ρήσεως που απασχολεί αυτή την ομάδα αθλητριών. Η διαταραχή περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα που ξεκινάει από ωχρινική καταστολή, ανωορρηξία, ολιγομηνόρροια, και καταλήγει στην πρωτογενή και δευτερογενή αμηνόρροια¹¹⁹. Η ωχρινική καταστολή χαρακτηρίζεται από μια συντομευμένη ωχρινική φάση και μια παρατεταμένη ωοθυλακική φάση στην οποία μειώνονται επίπεδα οιστραδιόλης. Το χρονικό στάδιο του κύκλου συνήθως δεν αλλάζει και η αθλήτρια συνεχίζει να παράγει ωάρια, αν και μπορεί να είναι λίγο αργότερα χρονικά από τον συνηθισμένο της κύκλο, και συνήθως έχει τακτική έμμηνο ρύση¹⁴⁴. Η ανωορρηξία χαρακτηρίζεται από χαμηλά επίπεδα οιστραδιόλης και προγεστερόνης, οι οποίες αποτρέπουν την ανάπτυξη των ωοθυλακίων, καθώς και από την απουσία ωορρηξίας. Μολονότι μειώνονται τα κυκλοφορούντα επίπεδα ορμόνης, οι αθλήτριες παρουσιάζουν εμμηνόρροια, ωστόσο μερικές βιώνουν συντόμευση ή παραταση του κύκλου τους. Ως ολιγομηνόρροια ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία το διάστημα μεταξύ των κύκλων της αθλήτριας ξεπερνάει τις 35 ημέρες. Ως αμηνόρροια χαρακτηρίζεται η απουσία ή η παύση της εμμήνου ρύσεως και διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Πρωτογενή αμηνόρροια ή καθυστερημένη εμμηναρχή ονομάζεται η απουσία εμμήνου ρύσεως ως την ηλικία των 16 σε ένα κορίτσι με δευτερογενή χαρακτηριστικά φύλου. Η δευτερογενής αμηνόρροια είναι η απουσία έμμηνο ρύσεως για διάστημα μεγαλύτερο των τριών μηνών μετά την εμμηναρχή¹⁴³. Η αμηνόρροια παρατηρείται σε ποσοστό από 3.4% μέχρι και 66% στις αθλήτριες, ενώ στο γενικό πληθυσμό κυμαίνεται μεταξύ 2 με 5% και αποτελεί σημαντικό πρόβλημα της ιατρική κοινότητας που ασχολείται με αθλητές. Πρόκειται για μια υποθαλαμική διαταραχή στην οποία φαίνεται να επιδρούν πολλοί παράγοντες όπως η διατροφή, η έντονη σωματική άσκηση, οι αλλαγές

της σύστασης του σώματος, οι ορμονικές μεταβολές λόγω της άσκησης και το άγχος. Είναι ένα σύμπτωμα που απαιτεί άμεση ιατρική αξιολόγηση και αντιμετώπιση καθώς οδηγεί σε μειωμένα επίπεδα οιστρογόνων και πρόωρης απώλειας οστικής πυκνότητας³⁶.

Οστεοπόρωση.

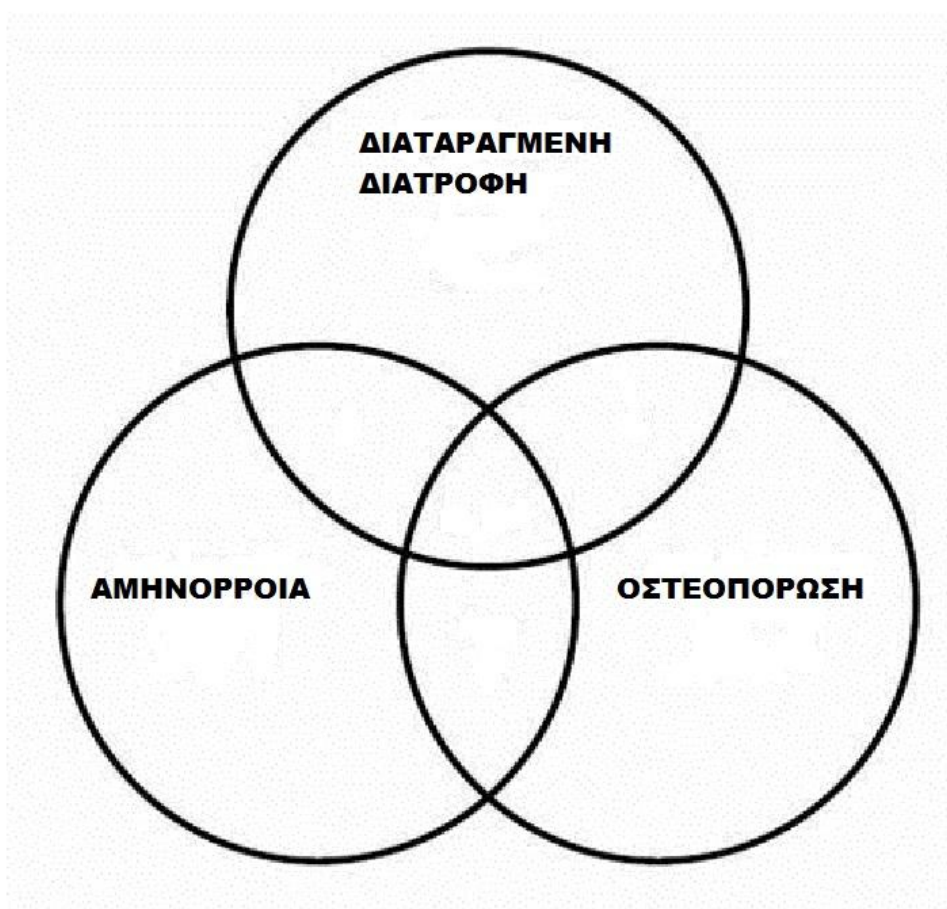
Αποτελεί το τρίτο συστατικό της γυναικείας αθλητικής τριάδας και περιγράφει ένα φαινόμενο κατά το οποίο οι αθλήτριες παρουσιάζουν χαμηλή οστική πυκνότητα που οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο κατάγματος. Κύρια αιτία του φαινομένου είναι η μειωμένη παραγωγή ωοθηκικών ορμονών και η υποοιστρογοναιμία ως αποτέλεσμα της υποθαλαμικής αμηνόρροιας¹⁴³. Η ποιότητα του οστού έχει να κάνει με παράγοντες που σχετίζονται με τον ρυθμό της οστικής ανακατασκευής και καθορίζεται κυρίως με την μέτρηση της οστικής πυκνότητας. Επειδή πρόκειται για αθλήτριες κυρίως προεμμηνόπαυσιακές και μικρής ηλικίας ο δείκτης Z-score συστήνεται από την Διεθνή Εταιρεία Κλινικής πυκνομετρίας ως πιο ειδικός¹⁵⁸. Το αμερικανικό κολλέγιο αθλητιάτρων (ACSM) ορίζει ως χαμηλή οστική πυκνότητα τις τιμές Z-score μεταξύ -1.0 και -2.0 και ως οστεοπόρωση τιμές ≤ -2.0 . Ωστόσο επειδή οι περισσότερες αθλήτριες έχουν ήδη μεγαλύτερη οστική πυκνότητα από τις μη αθλήτριες το ACSM συνιστά πως οι γιατροί πρέπει να αξιολογούν σοβαρά και τις τιμές κάτω από το -1.0 ακόμα και εν απουσία κατάγματος¹²⁰. Τα οστά των κάτω άκρων, της λεκάνης, και οι σπόνδυλοι είναι τα οστά που πλήττονται περισσότερο, με τα κατάγματα κόπωσης να είναι οι τυπικές εκδηλώσεις του συνδρόμου.

Η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα οστά εξαρτάται από τη διάρκεια και τη σοβαρότητα της εμμηνορροϊκής δυσλειτουργίας, την ηλικία, την ηλικία εμμηναρχής, το μέγεθος του σώματος, το είδος της άσκησης, καθώς και από τους γενετικούς παράγοντες και τη διατροφική τους κατάσταση. Η διάρκεια της αμηνόρροιας για μια αθλήτρια επηρεάζει το ποσοστό απώλειας οστικής μάζας ενώ όταν η περίοδος επανέρχεται, τότε αυξάνεται η οστική πυκνότητα⁴². Ο προσδιορισμός της συχνότητας της Γυναικείας Αθλητικής Τριάδας είναι από δύσκολος έως αδύνατος, λόγω της πολύ συχνής και επιτυχημένης απόκρυψης των συμπτωμάτων από τις αθλήτριες. Συχνά οι αθλήτριες την αρνούνται, δεν την αναγνωρίζουν και δεν την αναφέρουν. Όλες οι αθλήτριες

που εμφανίζουν ένα από τα συμπτώματα της αθλητικής τριάδας πρέπει να ελέγχονται και για τα υπόλοιπα. Οι προπονητές θα πρέπει να εκπαιδευθούν στην αναγνώριση και αντιμετώπιση των συμπτωμάτων της τριάδας¹⁷.

Η θεραπεία σπάνια είναι φαρμακευτική όσον αφορά την ορμονική αποκατάσταση και περιλαμβάνει κυρίως βελτίωση της διατροφικής κατάστασης και μείωση της έντασης της άσκησης. Με αυτό τον τρόπο αποκαθίσταται η εκλυτική ορμόνη της γοναδοτροπίνης (GnRH) και η ωχρινοτρόπος ορμόνη (LH) με αποτέλεσμα να επανέρχεται η φυσιολογική έμμηνος ρύση. Οι διατροφικές συστάσεις αφορούν τροφές πλούσιες σε ασβέστιο (1500-2500 mg/ημέρα), βιταμίνη D(400-800IU/ημέρα), ψευδάργυρο, χαλκό και φθόριο⁹⁸.

Το ιστορικό αμηνόρροιας είναι ένας εύκολος τρόπος ανίχνευσης της αθλητικής τριάδας στα πρώιμα ακόμα στάδια και η εμφάνισή της θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με τη δέουσα προσοχή, ενώ σημαντική κρίνεται η επιμόρφωση των αθλητριών και των εμπλεκόμενων προσώπων.

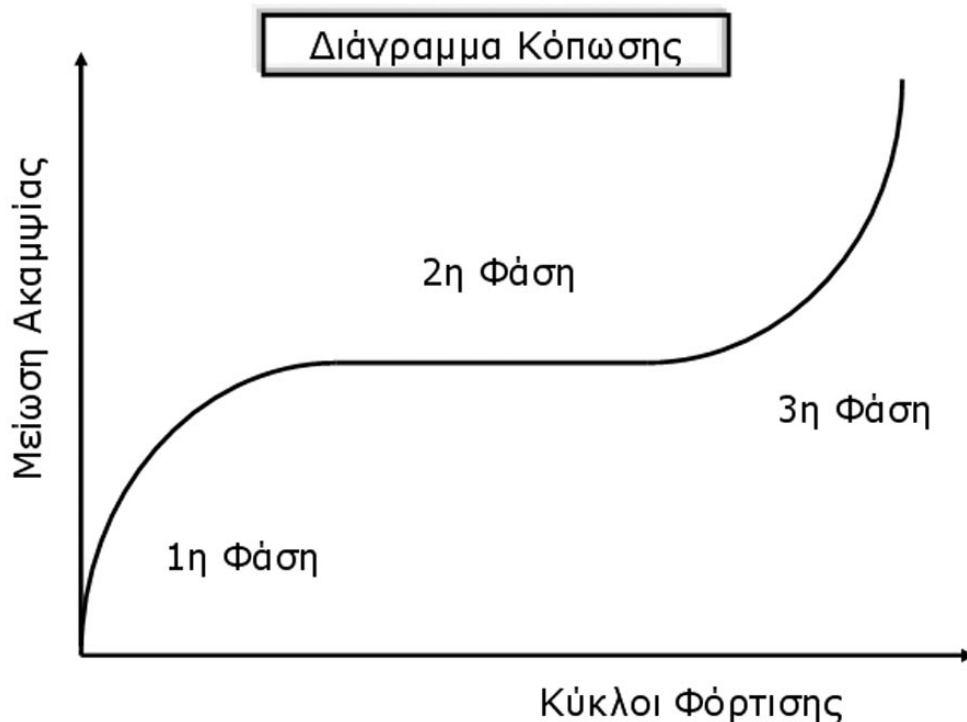


Εικ.3.1. Γυναικεία Αθλητική Τριάδα

3.4. Κατάγματα καταπόνησης

Τα κατάγματα καταπόνησης ανήκουν στους τραυματισμούς υπέρχρησης και αποτελούν αίτια πρόκλησης ισχυρού άλγους⁹. Παρουσιάζονται συχνά σε αθλητές και αποτελούν συχνά λόγο διακοπής της αθλητικής δραστηριότητας. Πρόκειται για μικροκακώσεις που οδηγούν σε οστεολυτικές διεργασίες που μπορούν να φτάσουν μέχρι και τη λύση της συνέχειας του οστού όταν η επαναλαμβανόμενη φόρτιση υπερβαίνει τη μηχανική αντοχή του οστού¹⁰⁶.

Η συνεχής καταπόνηση του μυοσκελετικού συστήματος κατά την άθληση μπορεί να προκαλέσει συνθήκες τραυματισμού λόγω διαταραχών στις λειτουργίες των δομών του. Τα οστά διαθέτουν ομοιοστατικούς μηχανισμούς που μπορούν και επιδιορθώνουν τις διαταραχές αυτές υπό φυσιολογικές συνθήκες. Ωστόσο η επαναλαμβανόμενη φόρτιση του οστού οδηγεί σε βλάβες που δεν αποκαθίστανται και η κατάσταση αυτή περιγράφεται ως κόπωση του οστού. Η αντοχή του οστού στην κόπωση είναι πολύ μικρότερη της μέγιστης στατικής αντοχής. Η καμπύλη κόπωσης του οστού παρουσιάζει τρεις φάσεις. Στην πρώτη η απώλεια της ακαμψίας είναι ταχεία εξαιτίας των μικρορωγμών. Στη δεύτερη η απώλεια της ακαμψίας είναι σταθερή, ενώ στην τρίτη προκαλείται μηχανική αποτυχία του οστού.



Εικ.3.2. Διάγραμμα κόπωσης του οστού σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση

Όριο κόπωσης είναι η μέγιστη τάση υπό την οποία ένα υλικό δεν θα αποτύχει όταν υποβληθεί σε απεριόριστους κύκλους φόρτισης, ενώ αντοχή στην κόπωση είναι το μέγιστο κυκλικό φορτίο που ένα υλικό θα απορροφήσει προτού υποστεί θραύση. Το οστό έχει τη δυνατότητα αποκατάστασης των μικρορωγμών που δημιουργούνται μετά από φόρτιση. Σύμφωνα με τον Frost εάν διακοπεί η λειτουργία της αποκατάστασης εντός δύο ετών το οστό θα οδηγηθεί σε μηχανική αποτυχία λόγω κόπωσης¹⁶².

Παράγοντες κινδύνου αποτελούν η έναρξη καινούργιας, διαφορετικής και αυξημένων απαιτήσεων καταπόνηση, η ανεπαρκής ανάπαυση, η αλλαγή αγωνιστικού χώρου, η κακή τεχνική και ο κακός εξοπλισμός, ενώ προβλήματα που αφορούν την διατροφή και την έμμηνο ρύση στις γυναίκες μπορούν να αποτελέσουν προδιαθεσικούς παράγοντες. Οι γυναίκες είναι πιο επιρρεπείς σε κατάγματα κόπωσης, πιθανότητα λόγω των διαφορών στην οστική πυκνότητα που σχετίζονται με ορμονικές διαταραχές⁹. Οι μαύρες γυναίκες και άνδρες είναι λιγότερο επιρρεπείς σε κατάγματα κόπωσης, πιθανώς λόγω του αυξημένου μεγέθους των οστών τους⁹⁵.

Αιφνίδια αύξηση έντασης και διάρκειας της δραστηριότητας
Ανεπαρκής ανάπαυση
Κακή φυσική κατάσταση
Γυναικείο φύλο
Ορμονικές διαταραχές εμμήνου ρύσεως
Μειωμένη οστική πυκνότητα
Μειωμένο πάχος φλοιώδους οστού
Διατροφικές ελλείψεις (δίαιτα, νηστεία, κτλ.)
Ακραίο μέγεθος σώματος
Ανώμαλο έδαφος
Αλλαγή αγωνιστικού εδάφους
Ακατάλληλα υποδήματα
Ανεπαρκής μυϊκή ισχύς
Κακή ευλυγισία
Κακή τεχνική
Ακατάλληλος εξοπλισμός

Πιν.8. Παράγοντες κινδύνου κατάγματος καταπόνησης

Κατάγματα Καταπόνησης σε Δρομείς.

Σε προοπτικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με δωδεκάμηνη περίοδο παρατήρησης σε αθλητές στίβου βρέθηκε πως τη μεγαλύτερη επίπτωση σε κατάγματα καταπόνησης σε γυναίκες και άνδρες την παρουσίασαν οι δρομείς αποστάσεων σε 22% και 20% αντίστοιχα¹¹. Σε μελέτες αθλητών μαραθωνίου παρατηρήθηκε πως το 85% των αθλητών παρουσιάζει έναν τουλάχιστον τραυματισμό κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας αλλά μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών των τραυματισμών είναι κατάγματα καταπόνησης¹⁹. Μετα-αναλύσεις οδήγησαν στο συμπέρασμα επιπολασμού καταγμάτων καταπόνησης σε δρομείς σε ετήσιο ποσοστό 4,6%¹⁴². Το ποσοστό ωστόσο είναι εξαρτώμενο και από τα χιλιόμετρα που διανύονται μέσα στο έτος¹⁹.

Κατάγματα Καταπόνησης σε άλλα αθλήματα.

Τα κατάγματα καταπόνησης μπορεί να προκύψουν από τη συμμετοχή σε πολλά αθλήματα και ειδικά σε αυτά που απαιτούν τρέξιμο και άλματα. Οι αθλητές στίβου και ειδικά οι δρομείς αντιπροσωπεύουν το 50% των καταγμάτων καταπόνησης στους άνδρες και 64% στις γυναίκες¹¹. Οι χορευτές μπαλέτου παρουσιάζουν ένα υψηλό ποσοστό των καταγμάτων καταπόνησης, μέχρι 61%⁵⁰, με αναφορές που δείχνουν μεγαλύτερη εντόπιση στο οστό της κνήμης, και κάποιες στα μετατάρσια⁷⁸. Οι αθλητές της ενόργανης γυμναστικής παρουσιάζουν επίσης υψηλό επιπολασμό 16% στους άνδρες και 24% στις γυναίκες⁴³. Υψηλό επιπολασμό ακόμα παρουσιάζουν οι αθλητές δρόμων ταχύτητας στον πάγο, οι οποίοι σε ποσοστό έως και 20% αντιμετωπίζουν την πάθηση κατά τη διάρκεια της καριέρας τους¹³⁰. Αθλήματα όπως οι καταδύσεις και η κωπηλασία αν και δεν θεωρούνται υψηλού κινδύνου μπορούν επίσης να προκαλέσουν κατάγματα καταπόνησης, ιδιαίτερα των μεταταρσίων και των πλευρών. Στο χόκεϊ, το γκολφ, την κολύμβηση, την ξιφασκία, και το σόφτμπολ έχουν αναφερθεί περιστατικά τέτοιου είδους καταγμάτων με χαμηλό όμως επιπολασμό¹².

Ανατομική εντόπιση.

Το 90% των καταγμάτων καταπόνησης αφορά τα κάτω άκρα με τα οστά της κνήμης και των μεταταρσίων να αποτελούν τη συνηθέστερη εντόπιση και την περόνη, το σκαφοειδές, τη λεκάνη και τον αυχένα του μηριαίου οστού τις λιγότερο συνήθεις¹⁰². Η εντόπιση στα οστά σε αυτούς διαφοροποιείται ανάλογα με το άθλημα (Κορακοειδή απόφυση – Σκοποβολή, Βραχιόνιο – Ρίψεις, Ωλέκραιο – Ρίψεις, Ωλένη – Άρση Βαρών, Ενόργανη γυμναστική, Πετοσφαίριση, Χειροσφαίριση)^{72,146}. Το φαινόμενο των πολλαπλών καταγμάτων καταπόνησης στο ίδιο άτομο έχει επίσης περιγραφεί¹⁷⁶, με έως και 13 κατάγματα¹¹⁴.

3.5 Αθλητές αναπηρικού αμαξιδίου

Το σύνολο των ασθενών αναπηρικού αμαξιδίου μετά από κακώσεις του Νωτιαίου Μυελού, τείνουν να αναπτύξουν οστεοπόρωση και διαταραχές του κυκλοφορικού τους συστήματος, απόρροια της σωματικής αδράνειας⁹³. Η οστική πυκνότητα μειώνεται ταχέως αμέσως μετά τον τραυματισμό, ενώ στη συνέχεια μειώνεται με μικρότερο αλλά σταθερό ρυθμό με συνέπεια την εμφάνιση οστεοπόρωσης και αύξηση της συχνότητας των καταγμάτων⁹⁷. Τα τελευταία χρόνια η άθληση για άτομα με σωματική αναπηρία κερδίζει σε δημοτικότητα και έχει στόχο τη συντήρηση και βελτίωση των υπόλοιπων λειτουργιών, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ανεξαρτησία και τα κίνητρά των ασθενών για τη ζωή⁷⁷.

Σε μελέτες βρέθηκε πως η οστική πυκνότητα των αθλητών αναπηρικού αμαξιδίου είναι 76,5% χαμηλότερη από εκείνη των σωματικά ικανών αθλητών (πιν.)⁹⁰. Ακόμα σε άλλη μελέτη βρέθηκε πως η οστική πυκνότητα στο οστό της κερκίδας σε παραπληγικούς αθλητές καλαθοσφαίρισης είναι σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με τα κάτω άκρα⁵⁵.

Έχει παρατηρηθεί πως όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική απόσταση από τον τραυματισμό, τόσο χαμηλότερες είναι οι τιμές της οστικής πυκνότητας. Όσο νωρίτερα ξεκινάνε τον αθλητισμό αναπηρικού αμαξιδίου, τόσο καλύτερες τιμές παρουσιάζουν στην οστική πυκνότητα των κάτω άκρων, του κορμού αλλά και όλου του σώματος. Οι τιμές αυτές είναι ανεξάρτητες από την ηλικία των αθλητών και του αθλήματος που ασχολούνται, ενδείξεις που συνηγορούν υπέρ της ταχείας έναρξης του αθλητισμού αναπηρικού αμαξιδίου ως μέσω πρόληψης της οστικής απώλειας⁹⁰.

Οστική Πυκνότητα BMD (g/cm ²)		
Σημείο Μέτρησης	Φυσιολογικοί Αθλητές	Αθλητές Αναπηρικού Αμαξιδίου
Άνω Άκρα	0.856 ± 0.050	0.896 ± 0.056**
Κάτω Άκρα	1.373 ± 0.091	1.052 ± 0.179***
Κορμός	0.946 ± 0.083	0.985 ± 0.156
Ολόσωματική	1.214 ± 0.079	1.153 ± 0.132*

*** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$;

Πιν.9 Σύγκριση οστική πυκνότητας μεταξύ αθλητών αναπηρικού αμαξιδίου και φυσιολογικών αθλητών.

Οι οστικοί δείκτες φαίνεται και αυτοί με τη σειρά τους να επηρεάζονται στις κακώσεις Νωτιαίου Μυελού. Οι δείκτες οστικής απορρόφησης (D-ργγ/Cr και Ca / Cr) αυξάνονται σημαντικά από νωρίς, μέχρι και ένα έτος από τον τραυματισμό ενώ οι δείκτες σχηματισμού οστού (ALP, οστεοκαλσίνη (OC)) παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα ακόμη και ένα χρόνο μετά από τον τραυματισμό¹⁷⁵. Μια εγκάρσιας τομής μελέτη διαπίστωσε ότι υψηλή οστική επαναρρόφηση συνεχίζει να συμβαίνει μέχρι και 3-5 χρόνια μετά από τον τραυματισμό¹⁶⁴. Αυτού του είδους η ανισορροπία μεταξύ οστικού σχηματισμού και επαναρρόφησης στις κακώσεις Νωτιαίου Μυελού συμβάλλει στην παθογένεια της απώλειας οστού⁷⁴ ωστόσο η έναρξη του αθλητισμού επιφέρει βελτίωση στους οστικούς δείκτες απορρόφησης⁶⁰.

Ο Kim και οι συνεργάτες του διαπίστωσαν ότι οι υψηλότερες τιμές μέσης οστικής πυκνότητας παρατηρήθηκαν στα πόδια, ακολουθούμενες από τον κορμό του σώματος και τα χέρια σε υγιείς γυναίκες. Τα ίδια αποτελέσματα ελήφθησαν στους αθλητές αναπηρικού αμαξιδίου, πράγμα που σημαίνει ότι η οστική πυκνότητα των κάτω άκρων δεν είναι κατώτερη μετά τον τραυματισμό σε σύγκριση με εκείνη των άλλων περιοχών του σώματος, αλλά είναι περίπου 23% χαμηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη των σωματικά ικανών αθλητών⁸⁹. Χρησιμοποιήθηκε ακόμα η τιμή του Z-score των κάτω άκρων και ολόκληρου του σώματος για την αξιολόγηση οστικής πυκνότητας σε αθλητές αναπηρικού αμαξιδίου και φυσιολογικών αθλητών. Οι πρώτοι παρουσίασαν τιμές που ήταν στο 76,5% στα κάτω άκρα και στο 95% στο σύνολο του σώματος, σε σχέση με τις τιμές των υγιών αθλητών, υποδεικνύοντας ότι η

αναπηρία οδηγεί σε τοπική μείωση της οστικής πυκνότητας ακόμη και σε ανταγωνιστικού επιπέδου αθλητές⁵¹.

Ο Matsushita και οι συνεργάτες του ανέφεραν ότι τόσο στα άνω άκρα όσο και κάτω άκρα η οστική πυκνότητα των αθλητών αναπηρικού αμαξιδίου είναι 15% έως 20% υψηλότερη από εκείνη των σωματικά αδρανών παραπληγικών ανδρών, γεγονός που σημαίνει ότι η τακτική άσκηση μπορεί να βοηθήσει για την πρόληψη της οστικής απώλειας¹⁰⁹. Πρόσφατες μελέτες αναφέρουν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία κατά τον τραυματισμό, τόσο μεγαλύτερη είναι η οστική πυκνότητα μεταξύ των αθλητών αναπηρικού αμαξιδίου. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η οστική πυκνότητα των ασθενών αυτών έχει διατηρηθεί σε ένα ορισμένο επίπεδο πριν από τον τραυματισμό, καθώς έχει βρεθεί πως η μέση τιμή στο μηριαίο οστό των ενηλίκων είναι 0.960 g/cm² ενώ των νεαρών ενηλίκων 0,863 g/cm²) των νεαρών ενηλίκων⁵¹.

Σχετικά με τα άνω άκρα στους αθλητές αναπηρικού αμαξιδίου αναφέρεται ότι υπάρχει αρχικά μείωση στις τιμές οστικής πυκνότητας η οποία ακολουθείται από αύξηση της, πράγμα που σημαίνει ότι η αυξημένη φόρτιση των άνω άκρων συμβάλει σε μια υψηλή οστική πυκνότητα στα άνω άκρα των αθλητών αναπηρικού αμαξιδίου. Αναφέρεται ακόμα πως οι αθλητές αυτοί παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές από τους αδρανείς ασθενείς αναπηρικού αμαξιδίου⁵².

Συμπερασματικά, η άμεση έναρξη αθλητισμού αμέσως μετά τον τραυματισμό μπορεί να είναι χρήσιμη και αποτελεσματική στην πρόληψη απώλειας της οστικής μάζας και στην βελτίωση της ποιότητας της καθημερινής ζωής των ασθενών.

3.6 Η άσκηση ως μέσο πρόληψης της οστεοπόρωσης

Η οστεοπόρωση, δηλαδή η σημαντικού βαθμού ελάττωση της οστικής πυκνότητας, έχει σαν αποτέλεσμα την προκλήση αναίτιων καταγμάτων λόγω της συνεπαγόμενης ελάττωσης της μηχανικής αντοχής του οστού. Ξεκινά από την τρίτη δεκαετία της ζωής και επιταχύνεται μετά την εμμηνόπαυση στις γυναίκες. Η συστηματική άσκηση σε μικρές ηλικίες βοηθά στη επίτευξη υψηλής κορυφαίας οστικής πυκνότητας στις ηλικίες κατά τις οποίες αυξάνεται η οστική πυκνότητα. Με τον τρόπο αυτό αποκτούν ως ενήλικες ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην περίπτωση εμφάνισης της οστεοπόρωσης. Η οστική απώλεια θα ξεκινήσει από υψηλότερες τιμές οστικής πυκνότητας με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά ο καταγματικός κίνδυνος¹⁶⁸.

Επιδημιολογικά στοιχεία αναδεικνύουν πως ο καταγματικός κίνδυνος στην περιοχή του ισχίου μειώνεται 20-40% στα άτομα που ακολουθούν αθλητικές δραστηριότητες⁵⁷. Η άσκηση ωστόσο μπορεί να ξεκινήσει σε οποιαδήποτε ηλικία ως μέσο πρόληψης καθώς συμβάλει στην διατήρηση της υπάρχουσας έστω οστικής πυκνότητας⁶⁴.

Η άσκηση ως μέσο παρέμβασης στην αντιμετώπιση της οστεοπόρωσης .

Η απώλεια της οστικής πυκνότητας σε συνδυασμό με την αύξηση κινδύνου για πτώση των ανθρώπων της τρίτης ηλικίας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά κατάγματα με αρνητικές συνέπειες για τους ασθενείς και τον περίγυρό τους. Ο σχεδιασμός ενός προγράμματος άσκησης σε οστεοπορωτικά άτομα πρέπει να είναι εστιασμένο στους ανάλογους στόχους. Η φυσική δραστηριότητα σε άτομα με οστεοπόρωση πρέπει να έχει σαν στόχο την αύξηση ή έστω τη διατήρηση μιας ικανοποιητικής οστικής πυκνότητας και την βελτίωση της ισορροπίας και της ιδιοδεκτικής ικανότητας για την αποφυγή πτώσεων.

Σχεδιασμός προγραμμάτων άσκησης.

Υπάρχει πληθώρα ερευνών που μελετούν την επίδραση της άσκησης στον πληθυσμό προσπαθώντας να αναδείξουν τον καλύτερο τρόπο εκγύμνασης για την βελτίωση της οστικής πυκνότητας των οστών. Αναφέρονται πρωτόκολλα που περιλάμβαναν μόνο αερόβια άσκηση, πρωτόκολλα με ασκήσεις μόνο μυϊκής ενδυνάμωσης και πρωτόκολλα που περιλάμβαναν συνδυασμό ασκήσεων. Στα πρωτόκολλα της αερόβιας άσκησης χρησιμοποιήθηκε χαλαρό βάδισμα, έντονο βάδισμα, βάδισμα στις μύτες, χορό, αργό τρέξιμο, αναπηδήσεις και επιτόπιο τρέξιμο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ερευνητών υποστηρίζεται ότι τα αερόβια προγράμματα άσκησης προφυλάσσουν τους συμμετέχοντες από την οστική απορρόφηση βελτιώνοντας σε κάποιες μόνο περιπτώσεις την οστική πυκνότητα⁴⁵.

Τα προγράμματα που περιείχαν μόνο ασκήσεις μυϊκής ενδυνάμωσης με εφαρμογή ασκήσεων υψηλής επιβάρυνσης βελτίωσαν σημαντικά τη μυϊκή ισχύ χωρίς ωστόσο να παρουσιάσουν σημαντικά αποτελέσματα στην αύξηση της οστικής πυκνότητας⁷⁰. Υπάρχουν ακόμα έρευνες με σύγκριση μεταξύ των ασκήσεων υψηλής και χαμηλής επιβάρυνσης οι οποίες όμως παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα^{10,165}. Τέλος, υπάρχουν έρευνες που στο πρωτόκολλο τους συμπεριλάμβαναν συνδυασμό αερόβιας άσκησης με ασκήσεις μυϊκής ενδυνάμωσης που παρουσίασαν και τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την αύξηση της οστικής πυκνότητας¹³⁵.

Σχετικά με την επίδραση της άσκησης στον περιορισμό των πτώσεων έχουν παρουσιαστεί έρευνες με θετικά αποτελέσματα. Σε μια από αυτές η παρέμβαση περιλάμβανε ασκήσεις με μεταφορά βάρους (βαθιά καθίσματα, μεγάλες πλάγιες μετατοπίσεις, ανορθώσεις από την καθιστή θέση και άλματα) και εφαρμόστηκε για εννέα μήνες. Τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά τόσο στην αύξηση της μυϊκής ισχύος όσο και στην βελτίωση ελέγχου του σώματος. Το ασκησιολόγιο αυτό στόχευε στην ενδυνάμωση μυϊκών ομάδων όπως οι απαγωγοί και οι εκτείνοντες του ισχίου αλλά και των εκτείνοντων του γόνατος οι οποίοι σχετίζονται με την σταθερότητα του σώματος. Σε μια άλλη που περιλάμβανε περπάτημα, ασκήσεις με βάρη και ασκήσεις με σκαλιά σε

ηλικιωμένα άτομα άνω των 80ετών παρατηρήθηκε μείωση των πτώσεων ως και 40%¹⁴⁵.

Ο σχεδιασμός ενός προγράμματος σε ηλικιωμένα άτομα θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά την επιλογή του ασκησιολόγιου. Οι ασκήσεις θα πρέπει να μην επιβαρύνουν ιδιαίτερα καρδιαγγειακά και να γίνονται μετά από λήψη ιατρικού ιστορικού. Πρέπει να γίνεται επιλογή ασκήσεων ανάλογα με το επίπεδο φυσικής κατάστασης των ασκούμενων και να αποφεύγονται πρωτόγνωρες δραστηριότητες. Τέλος ο σωστός εξοπλισμός των ασκούμενων, τα σωστά υποδήματα και ο κατάλληλος επιφάνειες άθλησης είναι απαραίτητα για την αποφυγή ατυχημάτων κατά την άσκηση.

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η παιδική και η εφηβική ηλικία είναι πολύ σημαντική περίοδος για την σκελετική υγεία του μέλλοντος. Η μηχανική φόρτιση έχει αποδειχθεί ότι είναι το καλύτερο ερέθισμα στην ενίσχυση της οστικής μάζας και των διαρθρωτικών σκελετικών προσαρμογών που συμβάλλουν στην αντοχή των οστών. Η άσκηση σε αυτές τις ηλικίες συμβάλει στην απόκτηση υψηλής κορυφαίας οστικής πυκνότητας και υπάρχουν στοιχεία που υποστηρίζουν ότι τα κέρδη αυτά διατηρούνται και σε μεγαλύτερη ηλικία μειώνοντας έτσι τον καταγματικό κίνδυνο. Τα αποτελέσματα της άσκησης ωστόσο μπορεί να είναι ενθαρρυντικά ακόμα και αν αυτή ξεκινήσει σε μεγαλύτερη ηλικία.

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να καθορίσει την ελάχιστη άσκηση που απαιτείται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και της ενήλικης ζωής που είναι απαραίτητη για την κλινική αύξηση της αντοχής των οστών.

Συμπεράσματα

Η άσκηση οδηγεί σε αύξηση της οστικής πυκνότητας λόγω της απόκρισης των οστών στα μηχανικά ερεθίσματα. Η οστική μάζα φαίνεται να επηρεάζεται και από το άθλημα αλλά και από το είδος του οστού. Ο σχηματισμός νέου οστού εξαρτάται λιγότερο από τη διάρκεια της μηχανικής καταπόνησης και περισσότερο από το μέγεθος και τη συχνότητα του μηχανικού ερεθίσματος. Για το λόγο αυτό τα αθλήματα με σημαντικές μηχανικές φορτίσεις παρουσιάζουν και τη μεγαλύτερη αναβολική δράση.

Οι μεταβολές της οστικής πυκνότητας εξετάζονται με μη επεμβατικές απεικονιστικές μεθόδους αλλά και με την εξέταση ορισμένων βιοχημικών δεικτών (ALP, BGP, PINP, PICP, CTX, NTX, OHP). Πρέπει πάντα να εξετάζονται από τον κατάλληλο κλινικό ιατρό και να αξιολογούνται τα αποτελέσματα με βάση τις ιδιαιτερότητες του κάθε αθλήματος καθώς και της ηλικίας του αθλούμενου.

Τα αποτελέσματα της άθλησης στην οστική πυκνότητα είναι ευεργετικά σε όλες τις ηλικίες. Στις μικρές ηλικίες η σωματική άσκηση είναι σημαντική για την επίτευξη της μέγιστης οστικής πυκνότητας ενώ στις μεγαλύτερες ηλικίες η άσκηση ασκεί προστατευτική δράση στη διατήρηση της οστικής πυκνότητας ακόμα και μετά την εμμηνόπαυση.

Η ενασχόληση με τον αθλητισμό είναι αναγκαία για όλο τον πληθυσμό καθώς μέσα από αυτόν επιτυγχάνεται καλή σκελετική υγεία και πρέπει να αποτελεί σύσταση όλων των κλινικών ιατρών ως μέσο πρόληψης της οστεοπόρωσης.

Βιβλιογραφία

1. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Osteoporosis and exercise *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:i-vii.
2. Akar S, Sivrikaya H, Conikli A(2002). Lateralized mineral content and density in distal forearm bones in right-handed men and women: Relation of structure to function. *International Journal of Neuroscience*, 112(3),301-311.
3. Aloia JF, Cohn SH, Babu T, Abesamis C, Kalici N, Ellis K. Skeletal mass and body composition in marathon runners. *Metabolism* 1978;27(12):1793-6.
4. Andreoli A, Monteleone M, Van Loan M, Promenzio L, Tarantino U, De Lorenzo A. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:507-11.
5. Αμπατζίδης, Γ. (1997). Άσκηση και οστική μάζα στους νέους. *Οστούν*, 8(4), 247-250.
6. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Lippi G. Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med.* 2010;40:697-714.
7. Baron R, Vignery A, Horowitz M: Lymphocytes, macrophages and the regulation of bone remodeling. *Bone Mineral research*. Elsevier, Amstredam, The Netherlands,1984;pp.175-243.
8. Bassej EJ, Ramsdale SJ. Increase in femoral bone density in women following high-impact exercise. *Osteoporos Int* 1994;4:72-5.
9. Beck TJ, Ruff CB, Shaffer RA. Stress fracture in military recruits: gender differences in muscle and bone susceptibility factors. *Bone*. Sep 2000;27(3):437-44.
10. Bemben, D., Fetters, N., Bemben, M., Nabani, N., & Koh, E. (2000). Musculoskeletal responses to high and low intensity resistance training in early postmenopausal women. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 32(11), 1949-1957.

11. Bennell, K.L., Malcolm, S.A., Thomas, S.A., et al.: The incidence and distribution of stress fractures in competitive track and field athletes. A twelve-month prospective study. *Am. J. Sports Med.* **24**, 211–217 (1996).
12. Bennell KL, Brukner PD. Epidemiology and site specificity of stress fractures. *Clin Sports Med.* 1997;16:179–96.
13. Beverly M, Rider T, Evans M, Smith R. Local bone mineral response to brief exercise that stresses the skeleton *Br. Med J* 1989;299:233-235.
14. Bilanin JE, Blanchard MS, Russek-Cohen E. Lower vertebral bone density in male long distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21(1):66-70.
15. Block JE, Friedlander AL, Brooks GA, Steiger P, Stubbs HA, Genant HK. Determinants of bone density among athletes engaged in weight-bearing and non-weight-bearing activity. *J. Appl. Physiol* 1989;67:1100-5.
16. Bonjour JP, Carrie AL, Ferrari S, Calvien H, Slosman D, 23. Theintz G, et al. Calcium-enriched foods and bone mass growth in prepubertal girls: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Clin Invest* 1997; 99 : 1287-94.
17. Bonci CM, Bonci LJ, Granger LR, Johnson CL, Malina RM, Milne LW, et al. National athletic trainers' association position statement: preventing, detecting, and managing disordered eating in athletes. *J Athl Train.* Jan-Mar 2008;43(1):80-108.
18. Bouxsein ML, Marcus R. Overview of exercise and bone mass. *Rheum. Dis. Clin. North Am* 1994;20:787-802.
19. Bovens, A.M., Janssen, G.M., Vermeer, H.G., et al.: Occurrence of running injuries in adults following a supervised training program. *Int. J. Sports Med.* 10(Suppl 3), S186–S190 (1989).
20. Brahm H., Mallmin H., Michaelsson K., Strom H., Ljunghall S. Relationship between bone mass measurements and lifetime physical activity in a Swedish population. *Calcif Tissue Int* 1998;62:400-12.
21. Brahm H, Piehl-Aulin K, Ljunghall S. 1997 Bone metabolism during exercise and recovery: the influence of plasma volume and physical fitness. *Calcif Tissue Int.* 61:192–198.
22. Brooke-Wavell K., Jones PR, Hardman AC, Brisk walking reduces calcaneal bone loss in post-menopausal women. *Clin Sci (Lond)* 1997;92:75-80.

23. Calvo MS, Eyre DR, Gundberg CM: Molecular basis and clinical application of biological markers of bone turnover. *Endocr Rev* 1996; 17:333-368.
24. Capozza R, Cointry G, Cure-Ramirez P, Ferretti J(2004). A DXA study of muscle-bone relationships in the whole body and limbs of 2512 normal men and pre- and post- menopausal women. *Bone*, 35(1),283-295.
25. Chaari H., Zouch M., Denguezli M., Bouajina E., Zaouali M., Tabka Z. A high level of volleyball practice enhances bone formation markers and hormones in prepubescent boys. *Biol. Sport* 2012;29:303-309.
26. Chapurlat RD, Ganero P, Breart G, et al: Serum type I collagen breakdown product (serum CTX) predicts hip fracture risk in elderly women: The EPIDOS Study. *Bone* 2000; 21:9-19.
27. Chien MY, Wu YT, Hsu AT, et al. Efficacy of a 24-week aerobic exercise program for osteogenic postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* 2000;67:443-8.
28. Chilibeck P.D., Davison K, Sale D, Webber C (200). Effect of physical activity on bone mineral density assessed by limb dominance across the lifespan. *American Journal of Human Biology*, 12(5), 663-637.
29. Chow R, Harrison JE, Notarius C. Effect of two randomized exercise programmes on bone mineral mass of healthy postmenopausal women. *BMJ* 1987 1987;295:1441-4.
30. Chung HW, Chu CC, Underweiser M, Wehrli FW: On the fractal nature of trabecular structure. *Med Phys* 1994; 21:1535-1540.
31. Cole RE (June 2008). "Improving clinical decisions for women at risk of osteoporosis: dual-femur bone mineral density testing". *J Am Osteopath Assoc* 108 (6): 289–95. [PMID 18587077](#).
32. Colleti LA, Edwards J, Gordon L et al. The effects of muscle-building exercise on bone mineral density of the radius, spine and hip in young men. *Calcif. Tissue Int* 1989;45:12-14.
33. Comez B Jr, Ardakani S, Ju J, et al: Monoclonal antibody assay for measuring bone-specific alkaline phosphatase activity in serum. *Clin Chem* 1995; 41:1560-1566.
34. Compston JE, Cooper C, Kanis JA: Bone densitometry in clinical practice. *BMJ* 1995; 310:1507-1510.

35. Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG. Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* 2001;90:565-70.
36. Cumming DC. Exercise-associated amenorrhea, low bone density, and estrogen replacement therapy. *Arch Intern Med* 1996;156:2193-5.
37. Dalen N, Olsson KE. Bone mineral content and physical activity. *Acta Orthop Scand* 1974;170-4.
38. Dalsky GP, Stocke KS, Ehsani AA, Slotopolsky F, Lee WC, Birge SJ 1988. Weight-bearing exercise training and lumbar BMC in postmenopausal women. *Ann Int Med* 108:824-828.
39. Davee AM, Rosen CJ, Addler RA. Exercise patterns and trabecular bone density in college women. *L Bone Miner Res* 1990;5:245-50.
40. Dempster DW: Anatomy and Functions of the Adult Skeleton. *In Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism*. Sixth edition, ASBMR, Washington DC, 2006;pp.7-11.
41. Dempster DW, Lindsay R: Pathogenesis of osteoporosis. *Lancet* 341:797. 1993.
42. De Souza MJ, Williams NI. Beyond hypoestrogenism in amenorrheic athletes: energy deficiency as a contributing factor for bone loss. *Curr Sports Med Rep*. Feb 2005;4(1):38-44.
43. Dixon, M., Fricker, P.: Injuries to elite gymnasts over 10 years. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25, 1322–1329 (1993).
44. Dominguez Cabrera C, Sosa Henriquez M, Traba ML, et al: Biochemical markers of bone formation in the study of postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int* 1998; 8:147-151.
45. Douchi, T., Yamamoto, S., Oki, T., Maruta, K., Kuwahata, R., Yamasaki, H., et al. (2000). The effects of physical exercise on bone fat distribution and bone mineral density in postmenopausal women. *Maturitas*, 35, 25-30.
46. Eghbali-Fatourechi G, Khosia S, Sanyal A, et al: Role of RANK ligand in mediating increased bone resorption in early postmenopausal women. *J Clin Invest* 2003; 111:1221-1230.
47. Ekin JA, Sinaki M. Vertebral compression fractures sustained during golfing:report of three cases. *Mayo Clin Proc* 1993;68:566-70.

48. Friedlander AL, Genant HK, sadowsky S et al. Atwo-year program of aerobics and weight training enhances bone mineral density of young women. *J Bone Miner Res* 1995;10:574-85.
49. Frost HM(1998). A brief review for orthopaedic surgeons: fatigue damage(microdamage) in bone (its determinants and clinical implications). *J Orthop sci* 3:272-281.
50. Frusztajer, N.T., Dhuper, S., Warren, M.P., et al.: Nutrition and the incidence of stress fractures in ballet dancers. *Am. J. Clin. Nutr.* 51, 779–783 (1990).
51. Fukunaga M, Sone T (2003) T-scores and Z-scores. *J Osteoporot Med Tokyo* 2:72–73.
52. Garland DE, Stewart CA, Adkins RH, Hu SS, Rosen C, Liotta FJ, Weinstein DA (1992) Osteoporosis after spinal cord injury. *J Orthop Res* 10:371–378.
53. Garnero P. Biomarkers of osteoporosis management: utility in diagnosis fracture risk prediction and therapy monitoring. *Mol diagn Ther* 2008;12:157-70.
54. Georgopoulos N, Markou K, Theodoropoulou A, Paraskevopoulou P, Varaki L, Kazantzi Z, Leglise M & Vagenakis AG. Growth and pubertal development in elite female rhythmic gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab* 1999 84 4525-4530.
55. Goktepe AS, Yilmaz B, Alaca R, Yazicioglu K, Mohur H, Gunduz S (2004) Bone density loss after spinal cord injury: elite paraplegic basketball players vs. paraplegic sedentary persons. *Am J Phys Med Rehabil* 83:279–283.
56. Gomez C, Valentin D, Peet N, Vico L, Chenu C, Malavall, Skerry T. Absence of mechanical loading in utero influences bone mass and architecture but not innervation in MyoD-Myf5-deficient mice. *J Anat* 2007; 210: 259-71.
57. Gregg E. W., M. A. Pereira, and C. J. Caspersen. Physical activity, falls, and fractures among older adults: a review of the epidemiologic evidence. *J. Am. Geriatr. Soc.* 48:883– 893, 2000.
58. Gutin B., Kasper MJ. Can vigorous exercise play a role in osteoporosis prevention? A review *Osteopos Int* 1992;2:55-69.

59. Guyton AC. Human Physiology and Mechanisms of Disease .5th et. Litsas medical edition, Athens 1998.
60. Hagihara Y, Fukuda S, Goto S, Iida H, Yamazaki M, Moriya H (2005) How many days per week should rats undergo running exercise to increase BMD? *J Bone Miner Metab* 23:289–294.
61. Halleen JM, Alatalo SL, Suominen H, et al: Tartrate-resistant acid phosphatase 5b: a novel serum marker of bone resorption. *J Bone Miner Res* 2000; 15:1337-1345.
62. Harber VJ, Webber CE, Sutton JR, MacDougal JD. The effect of amenorrhea of calcaneal bone density and total bone turnover in runners. *Int J Sports Med* 1991;12:505-8.
63. Hartard M, Haber P, Ilieva D, et al. Systematic strength training as a model of therapeutic intervention. A controlled trial in postmenopausal women with osteopenia. *Am J Phys Med Rehab* 1996;75:21-8.
64. Heinonen A, Kannus, Sievanen H, et al. Randomised controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk factors for osteoporotic fractures. *Lancet* 1996;348:1343-7.
65. Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievanen H, Manttari A, Vuori I. Bone mineral density of female athletes in different sports. *Bone Miner* 1993;23:1-14.
66. Heinrich CH, Going SB, Pamentier RW, Perry CD, Boyden TW, Lohman TG. Bone mineral content of cyclically menstruating female resistance and endurance trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:558-63.
67. Hofbauer LC, Schoppet M: Clinical Implications of the osteoprotegerin/RANKL/RANK System for bone and Vascular Diseases. *JAMA* 2004;292:490-495.
68. Hoch AZ, Pajewski NM, Moraski L, et al. (September 2009). "Prevalence of the female athlete triad in high school athletes and sedentary students". *Clin J Sport Med* 19 (5): 421–8.
69. Hu M., Finni T., Xu L., Zou L., Cheng S. Effects of resistance training on biomarkers of bone formation and association with red blood cell variables. *J. Physiol. Biochem.* 2011;67:351-358.
70. Humphries, B., Newton, R., Bronks, R., Marshall, S., McBride, J., Triplet-McBride, T., et al. (2000). Effect of exercise intensity on bone density,

- strength, and calcium turnover in older women. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 32(6), 1043-1050.
71. Iwamoto J, Takeda T, Ichimura S. Effect of exercise training and detraining on bone mineral density in postmenopausal women with Osteoporosis. *J Orthop Sci* 2001;6:128-32.
 72. Iwamoto J, Takeda T. Stress fractures in athletes: review of 196 cases. *J Orthop Sci* 2003; 8:273–8.
 73. Jacobson PC, Beaver W, Grubb SA, Taft TN, Talmage RV. Bone density in women: college athletes and older athletic women. *J Orthop Res* 1984;2:328-32.
 74. Jiang SD, Dai LY, Jiang LS (2006) Osteoporosis after spinal cord injury. *Osteoporosis Int* 17:180–192.
 75. Johnell O, Oden A, De Laet C, Garnero P, Delmas PD. Biochemical indices of bone turnover and the assessment of fracture probability. *Osteoporosis Int* 2002; 13:523-6.
 76. Jurimae J., Purge P., Jurimae T., von Duvillard SP. Bone metabolism in elite male rowers: adaptation to volume-extended training. *Eur Appl Physiol* 2006;97:127-32.
 77. JSAD (2004) Guidelines and instructions for sports for the disabled (in Japanese). Second revision. GYOSEI Corporation, Tokyo, pp 1–31.
 78. Kadel, N.J., Teitz, C.C., Kronmal, R.A.: Stress fractures in ballet dancers. *Am. J. Sports Med.* 20, 445–449 (1992).
 79. Kanis JA, Seeman E, et al: The perspective of the International Osteoporosis Foundation on the official positions of the International Society for Clinical Densitometry. *Osteoporosis Int* 2005; 16:456-459.
 80. Kanis JA: Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet* 2002;359(9321): 1929-1936.
 81. Kanis JA, Gluer CC for the Committee of Scientific Advisors, International Osteoporosis Foundation : An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. *Osteoporosis Int* 2000; 11:192-202.
 82. Karlsson (2004). Review has exercise and antifracture efficacy in women? *Scandinavian Journal of Medicine in sports*, 14(1),2-15.

83. Karlsson KM, Karlsson K., Ahlborg HG, Valdimarsson O., Ljunghall S. The duration of exercise as a regulator of bone turnover. *Calcif Tissue Int* 2003; 73:350-5.
84. Karlsson MK, Vergnaud P, Delmas PD, Obrant KJ. Indicators of bone formation in weight lifters. *Calcif issue Int* 1995;56:177-80.
85. Katsuta, S., Shimegi, S., Terao, M., Takahashi, H., Amagai, H., Mukai, N., et al. (1996). Effects of unilateral activity on bone mineral density and content in adolescentsmales. *Bulletin Instruction Health & Sport Science of Univercity of Tsakuba*, 19, 99-106.
86. Kaufman H, Reznick A, Stein H, Barak M, Maor G. The biological basis of the bone-muscle inter-relationship in the algorithm of fracture healing. *Orthopedics* 2008;31:751.
87. Kelley GA, Kelley KS, Tran ZV. Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J Appl Physiol* 2000; 88: 1730-6.
88. Kerr D, Morton A, Dick I, Prince R(1996). Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-depedent. *J Bone Miner Res* 11:218-225.
89. Kim H, Tanaka K, Nakanishi T, Amagai H (1999) The correlation between the change of bone density by age and physical formation and power science for adult females (in Japanese). *Natl Inst Inform* 48:81–90.
90. Kimiko M. , Da-Hong W. , Keiko M. , Nobuyuki M. , Bing-Ling , Tomoko T. , Jiro T. , Keiki O. (2008) Effect of sports activity on bone mineral density in wheelchair athletes. *J Bone Miner Metab* (2008) 26:101–106.
91. Kirk S, Sharp CF, Elbaum N, et al. Effect of long distance running on bone mass in women. *J bone Miner Res* 1989;4:515-22.
92. Klein-Nuelend J, Bacabac RG, Mullender MG (2005). Mechanobiology of bone tissue. *Pathologie biologie* 53:576-580.
93. Kocina P (1997) Body composition of spinal injured adults. *Sports Med* 23:48–60.
94. Kohrt, BlomfieldS, Little K, Nelson M (2004). Physical activity and bone health:American College of sports Medicine position stand. *Medicine and Science in sports and Exercise* 36(11),1985-1996.
95. Korpelainen, R., Orava, S., Karpakka, J., et al.: Risk factors for recurrent stress fractures in athletes. *Am. J. Sports Med.* 29,304–310 (2001).

96. Lane NE, Bloch DA, Jones HH, Marshall WH, Wood PD, Fries JF. Long-distance running bone density and osteoarthritis. *Jama* 1986;255:1147-51.
97. Lazo MG, Shirazi P, Sam M, Giobbie-Hurder A, Blacconiere MJ, Muppidi M (2001) Osteoporosis and risk of fracture in men with spinal cord injury. *Spinal Cord* 39:208–214.
98. Lebrun CM. The female athlete triad: what's a doctor to do?. *Curr Sports Med Rep*. Dec 2007;6(6):397-404.
99. Liang H, Pun S, Wronski TJ. Bone anabolic effects of basic fibroblast growth factor in ovariectomized rats. *Endocrinology* 1999;140:5780-8.
100. Liu L, Maruno R, Mashimo T, et al. Effects of physical training on cortical bone at midtibia assessed by peripheral QCT. *J Appl Physiol* 2003;95:219-24.
101. Maimoun L, Mariano-Goulart D, Couret I. Effects of physical activities that induced leptin secretion on bone metabolism in male decathletes. *Eur J Appl Physiol* 2003;102:343-41.
102. Maitra RS, Johnson DL. Stress fractures. Clinical history and physical examination. *Clin Sports Med*. 1997;16:259–74.
103. Malm HT, Ronni-Sivula HM, Viinikka LU, Ylikorkala OR. 1993 Marathon running accompanied by transient decreases in urinary calcium and serum osteocalcin levels. *Calcif Tissue Int*. 52:209 –211.
104. Manolagas Stavros C. Birth and death of bone cells. Basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis. *Endocrine Reviews* 2000; 21:115-137.
105. Marwaha RK, Tandon N, Shivprasad C, Kanwar R, Mani K, 28. Aggarwal R, et al. Peak bone mineral density of physically active healthy Indian men with adequate nutrition and no known current constraints to bone mineralization. *J Clin Densitom* 2009; 12 : 314-21.
106. Matheson GO, Clement DB, McKenzie DC, et al. Stress fractures in athletes: a study of 320 cases. *Am J Sports Med* 1987;15:46–58.
107. Matkovic V., Colachis SC, Illich JZ(1996). Osteoporosis:1st Prevention and Treatment. *Physical Medicine and Rehabilitation*. p:851-875.
108. Matkovic V. Skeletal development and bone turnover revisited. *J Clin Endocrinol Metab* 1996;81: 2013-2016.

- 109.** Matsushita N, Takaoka K, Nakatuti T, Koike T, Osawa S, Koduma T, Takise S (2003) The effect of sports on bone mineral content of subjects with injury to the spinal cord (in Japanese). *Jpn Orthop Assoc* 77:559.
- 110.** McClanahan, B.S., K. Harmon-Clayton, R.C. Ward, C.M. Klesges, Vukadinovich and D.C. Edwin, 2002. Side-to-side comparison of bone mineral density in upper and lower limbs of collegiate athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 16: 586-590.
- 111.** McLeod KJ, Rubin CT, Otter MW, Qin YX. Skeletal cell stresses and bone adaptation. *Am J Med Sci* 1998; 316: 176-83.
- 112.** Menkes A, Mazel S, Redmond RA, Koffler K, Libanati CR, Gundenberg CM, et al. Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 1993;74:2478-84.
- 113.** Meredith CN. Exercise and Fitness. In Rickert IV,ed. *Adolescent Nutrition and Management*. New York : Chapman and Hall;1996:25-42.
- 114.** Milgrom, C., Chisin, R., Giladi, M., et al.: Multiple stress fractures, a longitudinal study of a soldier with 13 lesions. *Clin. Orthop. Relat.Res.* 192, 174–179 (1985).
- 115.** Montgomery E, Pennington C, Isales CM, Hamrick MW. Muscle-bone interactions in dystrophin-deficient and myostatin-deficient mice. *Anat Rec* 2005;286A:814-22.
- 116.** Muller A, Ruegsegger E, Ruegsegger P, et al: Peripheral QCT: a low risk procedure to identify women predisposed to osteoporosis. *Phys Med Biol* 1989; 34:741-749.
- 117.** Munoz MT, de la Piedra C, Barrios V, Garrido G & Argente J. Changes in bone density and bone markers in rhythmic gymnasts and ballet dancers: implications for puberty and leptin levels. *Eur J Endocrinol* 2004 151 491-496.
- 118.** Myerson M, gutin B, warren MP, Wang J, Lichtman s, Pierson RN. Total body bone density in amenorrheic runners. *Obstet gynecol* 1992;79:973-8.
- 119.** Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, et al. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.* Oct 2007;39(10):1867-82

- 120.** Nattiv et al. 2007. 'Female Athlete Triad: Position Statement.' Office Journal of the American College of Sports Medicine.
- 121.** Nelson ME, Meredith CN, Dawson-Hughes B, Evans WJ. Hormone and bone mineral status in endurance-trained and sedentary postmenopausal women. *J clin Endocrinol metab* 1988;66:927-33.
- 122.** Nichols JF, Palmer JE, Levy SS. Low bone mineral density in highly trained male master cyclists. *Osteoporos Int* 2003; 14: 644-9.
- 123.** Nilsson BE, Westlin NE. Bone density in athletes. *Clin Orthop* 1971;77:179-82.
- 124.** Nishiyama S, Tomoeda S, Ohta T, Higuchi A, Matsuda I. Differences in basal and post exercise osteocalcin levels in athletic and non athletic humans. *Calcif Tissue Int* 1988;143:150-4.
- 125.** Nordin BEC, Need AG, Morris HA et al : Bad habits and bad bones. In Burchhardt K, Heaney RP (eds): *Challenge of Modern Medicine. Nutritional aspect of osteoporosis.*'94 Rome, Ares-Serono symposia, p.1, 1995.
- 126.** Orum O, Hansen M, Jensen CH, et al: Procollagen type I N-terminal propeptide (PINP) as an indicator of type I collagen metabolism: ELISA development, reference interval, and hypovitaminosis D induced hyperparathyroidism. *Bone* 1996; 19:157-163.
- 127.** Orwoll ES, Ferar J, Oviatt SK, McClung MR, Huntington K. The relationship of swimming exercise to bone mass in men and women. *Arch Intern Med* 1989;149:2197-200.
- 128.** Otis CL, Drinkwater B, Johnson M, Loucks A, Wilmore J. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.* May 1997;29(5):i-ix.
- 129.** Paganini-Hill A, Ross RK, Gerkins VR, et al. Menopausal estrogen therapy and hip fractures. *Ann Intern Med* 1981;95:28-31.
- 130.** Pecina, M., Bojanic, I., Dubravcic, S.: Stress fractures in figure skaters. *Am. J. Sports Med.* **18**, 277–279 (1990).
- 131.** Proctor K, Adams W(2002). Upper limb bone mineral density of female collegiate gymnasts versus controls. *Medicine and science in Sports and Exercise*, 34(1),1830-35.

- 132.** Reeve, J. How do women develop fragile bones? *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.* 74:375–381, 2000.
- 133.** Richards R, McKee M, Paitich C, Anderson G, Bertioia J. A comparison of the effects of skin coverage and muscle flap coverage on the early strength of union at the site of osteotomy after devascularization of a segment of canine tibia. *J Bone Jt Surg* 1991;73:1323-30.
- 134.** Riggs BL, Wahner HW, Melton LJ, Richelson LS, Judd HL, Offord KP 1986. Rates of bone loss in the appendicular and axial skeletons of women: evidence of substantial vertebral bone loss before menopause. *J Clin Invest* 77:1487-1491.
- 135.** Rikli, R., & Mcmanis, B. (1990). Effects of exercise on bone mineral content in postmenopausal women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61(3), 243-249.
- 136.** Risser WL, Lee EJ, Le Blanc A, Poindexter HB, Risser JM, Schneider V. Bone density in eumenorrheic female college athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:570-4.
- 137.** Rizzoli, R, Bonjour, J-P, Ferrari, S. L. Osteoporosis, genetics and hormones. *Journal of Molecular Endocrinology* 2001 26: 79-94.
- 138.** Robert S. Rogers, et al. Acute response of plasma markers of bone turnover to a single-bout of resistance-training or plyometrics. *J Appl Physiol* August, 2011:83-85.
- 139.** Robinson BJ, Krzywecki T., Almond L., et al. Effect of low impact exercise program on BMD in Crohn's disease: a randomized controlled trial. *Gastroenterology* 1998; 2:55-69.
- 140.** Robins SP, Duncan A, Wilson N, et al: Standardization of pyridinium crosslinks, pyridoline and deoxypyridoline, for use as biochemical markers of collagen degradation. *Clin Chem* 19996; 42:1621-1626.
- 141.** Seibel MJ. Biochemical markers of bone turnover: part I: biochemistry and variability. *Clin Biochem Rev* 2005; 26:97–122.
- 142.** Shaffer, R.: Incidence and prevalence of stress fractures in military and athletic populations. In: Burr, D., Milgrom, C. (eds.) *Musculoskeletal Fatigue and Stress Fractures*, pp. 1–14. CRC, BocaRaton (2001).

143. Shangold M, Rebar RW, Wentz AC, Schiff I. Evaluation and management of menstrual dysfunction in athletes. *JAMA*. Mar 23-30 1990;263(12):1665-9.
144. Sharma P., Malhotra C., Taneja D. K., Saha R. (2008). "Problems related to menstruation amongst adolescent girls". *Indian J Pediatr* 75 (2): 125–9.
145. Shaw, J. M., & Snow, C. (1998). Weighted vest exercise improves indices of fall risk in older women. *Journal of Gerontology A Biological Science, Medical Sciences*, 53, M53-M58.
146. Sinha AK, Kaeding CC, Wadley GM. Upper extremity stress fractures in athletes: clinical features of 44 cases. *Clin J Sports Med* 1999;9:199–202.
147. Sone, Y., Ima, Y., Joo, S., Onodera, T., Tomomitsu, T., & Fukunaga, M. (2006). Side-to-side differences in cortical bone mineral density of tibiae in young male athletes. *Bone*, 38(5), 708-713T.
148. Smith EI., Gilligan C., McAdam M., Ensign CP, Smith PE: Deterring bone loss by exercise intervention in premenopausal and postmenopausal women. *Calcif. Tissue Int* 1989;44:312-321.
149. Snow, C.M., Rosen, C.J., & Robinson, T.L. (2000). Serum IGF-I is higher in gymnasts than runners and predicts bone and lean mass. *Medicine Science Sports Exercise*, 32, 1902-1907.
150. Snow-Harter C, Bouxsein M, Lewis B, Charette S, Weinstein P, Marcus R. Muscle strength as a predictor of bone mineral density in women. *J Bone Miner Res* 1990;5:589-95.
151. Suominen H. Bone mineral density and long term exercise. An overview of cross-sectional athlete studies. *Sports Med* 1993;16:316-30.
152. Suominen H, Rahkila P. bone mineral density of the calcaneus in 70-to 81-yr-old male athletes and a population sample. *Med Sci Sports exerc* 1991;23:1227-33.
153. Suominen H. BMD and long term exercise. An overview of cross-sectional athlete studies. *Sport Med* 1993;16:316-30.
154. Swaminathan R: Biochemical markers of bone turnover. *Clin Chim Acta* 201;313:95-105. activity on bone mineral status of eumenorrheic athletes. *J Bone Miner Res* 10: 586–593, 1995.

- 155.** Taaffe, DR, Snow-Harter, C, Connolly, DA, Robinson, TL, Brown, MD, and Marcus, R. Differential effects of swimming versus weightbearing
- 156.** Taichman RS: Blood and bone: two tissues whose fates are intertwined to create the hematopoietic stem-cell niche. *Blood* 2005; 105(7):2631-2639.
- 157.** Tandon N, Marwaha RK, Kalra S, Gupta N, Dudha A, 27. Kochupillai N. Bone mineral parameters in healthy young Indian adults with optimal vitamin D availability. *Natl Med J India* 2003; 16 : 298-302.
- 158.** The Writing Group for the International Society for Clinical Densitometry (ISCD) Position Development Conference. Diagnosis of osteoporosis in men, premenopausal women, and children. *J Clin Densitom.* Spring 2004;7(1):17-26.
- 159.** Todd JA, RJ Robinson. Osteoporosis and Exercise .*Postgrad Med* 2003;79:320-323.
- 160.** Torstveit et al. 2005. 'The Female Athlete Triad: Are Elite Athletes at Increased Risk?' *Medicine and Science in Sports and Exercise.* vol. 37, no. 2. p. 184-93.
- 161.** Tsuzuku S, Ikegami Y, Yabe K. Effects of high-intensity resistance training on bone mineral density in young male power lifters. *Calcif Tissue Int* 1998; 63: 283-6.
- 162.** Turner, C.H. and Burr, D.B. (1993) Basic biomechanical measurements of bone: a tutorial. *Bone* 14, 595-608.
- 163.** Utvag S, Grundnes O, Rindal D, Reikeras O. Influence of extensive muscle injury on fracture healing in rat tibia. *J Orthop Trauma* 2003;17:430-5.
- 164.** Vaziri ND, Pandian MR, Segal JL, Winer RL, Eltoral I, Brunnemann S (1994) Vitamin D, parathormone, and calcitonin profiles in persons with long-standing spinal-cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 75:766–769.
- 165.** Vincent, K. R., & Braith, R. W. (2002). Resistance exercise and bone turnover in elderly men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 17-23.
- 166.** Vincent-Rodriguez, G., C. Dorado, J. Perez-Gomez, J.J. Gonzalez-Rodriguez and J.A. Calbet, 2004. Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Journal of Bone*, pp: 1208-1215.

167. Voss LA, Fadale PD, Hulstyn MJ. Exercise-induced loss of bone density in athletes. *J Am Acad Orthop Surg* 1998; 6: 349-57.
168. Vuori, I. (1996). Peak bone mass and physical activity: A short review. *Nutrition Review*, 54, 511-514.
169. Weiner S, Wagner HD. THE MATERIAL BONE. *Structure-Mechanical Function Relations*. Annual Review. Material science 1998;28:271-298.
170. Wehrli FW, Saha PK, Gomberg BR, et al: Role of magnetic resonance for assessing structure and function of trabecular bone. *Top Magn Reson Imaging* 2002; 13:335-335.
171. Welsh L, Rutherford OM, James I, Crowley C, Corner M, Wolman R. 1997 The acute effects of exercise on bone turnover. *Int J Sports Med*. 18:247–251.
172. Wolff J. The law of bone transformation. Hirschwald, Berlin, 1892.
173. Wolman RL, Faulmann L, Clark P, Hesp R, Harries MG. different training patterns and bone mineral density of the femoral shaft in elite, female athletes. *Ann Rheum Dis* 1991;50:487-9.
174. Wu C, Gluer CC, Lu Y, et al: Ultrasound characterization of bone demineralization. *Calcif Tiss Int* 1998; 62:133-139.
175. Zehnder Y, Luthi M, Michel D, Knecht H, Perrelet R, Neto I, Kraenzlin M, Zach G, Lippuner K (2004) Long-term changes in bone metabolism, bone mineral density, quantitative ultrasound parameters, and fracture incidence after spinal cord injury: a cross-sectional observational study in 100 paraplegic men. *Osteoporos Int* 15:180–189.
176. Zwas, S.T., Elkanovitch, R., Frank, G.: Interpretation and classification of bone scintigraphic findings in stress fractures. *J. Nucl. Med.* 28, 452–457 (1987).