



ΔΗΜΟΚΡΕΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

## ΔΙΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

### “Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία”

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης και του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η επίδραση της άσκησης με αντιστάσεις στην κορυφαία οστική μάζα  
σε νέο πληθυσμό ως μέτρο πρόληψης της οστεοπόρωσης**

Γεώργιος Ναγόρνης [Α.Ε.Μ.12086]

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε στο Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος στην “Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία” σε συνεργασία με Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ελένη Δούδα, Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

2ο Μέλος: Ηλίας Σμήλιος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

3ο Μέλος: Απόστολος Σπάσης, Μέλος Ε.Ε.Π. Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

Κομοτηνή, 2024



**DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE**

**SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE**

**DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE**

**INTERINSTITUTIONAL POSTGRADUATE PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES**

**"Clinical Exercise and Applications of Technology in Health"**

of the Department of Physical Education and Sport of the School of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace in collaboration with the National Center for Science Research "DEMOKRITOS" - The Institute of Informatics and Telecommunications (IIT)

## **MASTER DISSERTATION**

**The effect of resistance exercise on peak bone density of young adults**

George Nagornis [R.N. 12086]

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Master's Degree in "Clinical Exercise and Applications of Technology in Health" of the Department of Physical Education and Sport of the School of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace in collaboration with the National Center for Science Research "DEMOKRITOS" - The Institute of Informatics and Telecommunications (IIT)

### **COMMITTEE OF EXAMINERS**

Supervisor: Helen Douda, Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Member 2: Ilias Smilios, Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Member 3: Apostolos Spassis, Specialized Teaching Staff, D.P.E.S.S. – D.U.T.H.

Komotini, 2024



**© 2024 Διίδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία»**

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Τ.Ε.Φ.Α.Α.) της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Σ.Ε.Φ.Α.Α.) του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (Δ.Π.Θ.) σε συνεργασία με το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» (Ε.ΚΕ.Φ.Ε. «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ») - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Γεώργιος Ναγόρνης:** Η επίδραση της άσκησης με αντιστάσεις στην κορυφαία οστική μάζα σε νέο πληθυσμό ως μέτρο πρόληψης της οστεοπόρωσης

(Με την επίβλεψη της Καθηγήτριας Ελένης Δούδα)

Η οστεοπόρωση επιβαρύνει τον παγκόσμιο πληθυσμό λόγω του υψηλού επιπολασμού και της νοσηρότητάς της καθώς προκαλεί κατάγματα ευθραυστότητας. Η άσκηση με αντιστάσεις βοηθά στην πρόληψη της οστεοπόρωσης μειώνοντας σημαντικά τον ρυθμό απώλειας οστικής πυκνότητας (bone mineral density – BMD, g/m<sup>2</sup>), που επέρχεται από το γήρας. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της άσκησης με αντιστάσεις στην αύξηση της κορυφαίας οστικής πυκνότητας σε νεαρό πληθυσμό. Στη μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 40 ενήλικα νεαρά άτομα, ηλικίας 27,50±2,81 ετών, σωματικής μάζας 74,02±15,18 kg, ύψους 171,95±10,54 cm και δείκτη BMI 24,80±3,05 kg/m<sup>2</sup>, τα οποία χωρίστηκαν ισάριθμα σε ομάδες ανάλογα με το φύλο (άνδρες n=20, γυναίκες n=20) και την ομάδα με το αν αθλούνταν συστηματικά (Ομάδα συστηματικά αθλούμενων: άνδρες, n=9 & γυναίκες, n=10 και Ομάδα μη αθλούμενων: άνδρες, n=11 & γυναίκες, n=10). Οι συστηματικά αθλούμενοι/ες ασκούσαν τουλάχιστον 3 φορές την εβδομάδα τα τελευταία 3 χρόνια και εκτελούσαν τουλάχιστον 2 σετ των 10-12 επαναλήψεων ανά μυϊκή ομάδα, για τουλάχιστον 8 μυϊκές ομάδες. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν περιλάμβαναν εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις και μέτρηση της οστικής πυκνότητας, με τη μέθοδο απορρόφησης ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DEXA), για την οσφυϊκή μοίρα και το ισχίο (BMD, T-Score, Z-Score). Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι η ομάδα των συστηματικά αθλούμενων παρουσίασε μεγαλύτερη οστική πυκνότητα από την ομάδα των μη αθλούμενων στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης (p<.001) και το ισχίο (p<.01). Συγκεκριμένα, η επίδραση του παράγοντα Άσκηση ήταν στατιστικά σημαντική στην ολική BMD των σπονδύλων (p<.001), το T-Score (p<.001) και στο Z-Score (p<.001) καθώς και του αυχένα του μηριαίου [BMD (p<.05), T-Score (p<.05), Z-Score (p<.05)] και του ισχίου [BMD (p<.01), T-Score (p<.01), Z-Score (p<.01)] αντίστοιχα. Ως προς τον παράγοντα Φύλο παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση στο T-Score (p<.05) και στο Z-Score (p<.01) της ολικής BMD των σπονδύλων καθώς και



στην ολική BMD του αυχένα ( $p < .05$ ) και του ισχίου ( $p < .05$ ) ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στον εργαστηριακό έλεγχο. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η άσκηση με αντιστάσεις από την νεαρή ηλικία έχει θετική επίδραση στην οστική πυκνότητα με αύξηση των τιμών της κορυφαίας οστικής μάζας. Κατά συνέπεια, θα μπορούσε να αποτελέσει μέτρο πρόληψης της οστεοπόρωσης είτε με καθυστέρηση της εμφάνισής της ή ακόμα και μη εμφάνισή της, όσο περνάει η ηλικία.

**Λέξεις - Κλειδιά:** *άσκηση με αντιστάσεις, οστεοπόρωση, κορυφαία οστική πυκνότητα, πρόληψη*



## ABSTRACT

**George Nagornis:** The effect of resistance exercise on peak bone density of young adults

(Under the supervision of Professor Helen T. Douda)

Osteoporosis burdens the global population due to its high prevalence and morbidity as it causes fragility fractures. Resistance training prevents osteoporosis by significantly reducing the rate of age-related bone loss (bone mineral density – BMD,  $\text{g}/\text{m}^2$ ). The purpose of this study was to determine the effect of resistance exercise on increasing peak bone density in a young population. A total of 40 young adults voluntarily participated in the study, aged  $27.50 \pm 2.81$  years, with body mass  $74.02 \pm 15.18$  kg, height  $171.95 \pm 10.54$  cm and BMI index  $24.80 \pm 3.05$   $\text{kg}/\text{m}^2$ . The participants were equally divided into groups according to gender (men  $n=20$ , women  $n=20$ ) and the group with whether they exercised regularly (Exercise Group: men,  $n=9$  & women,  $n=10$  and Control Group: men,  $n=11$  & women,  $n=10$ ). Athletes exercised at least 3 times per week for the past 3 years and performed at least 2 sets of 10-12 repetitions per muscle group, for at least 8 muscle groups. Measurements performed included laboratory blood tests and measurement of bone mineral density, by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), for the lumbar spine and hip (BMD, T-Score, Z-Score). The analysis of the data showed that the exercising group had higher bone density than the non-exercising group in the lumbar spine ( $p < .001$ ) and the hip ( $p < .01$ ). Specifically, the effect of the Exercise factor was statistically significant on the total BMD of the vertebrae ( $p < .001$ ), the T-Score ( $p < .001$ ) and the Z-Score ( $p < .001$ ) as well as the neck [BMD ( $p < .05$ ), T-Score ( $p < .05$ ), Z-Score ( $p < .05$ )] and hip [BMD ( $p < .01$ ), T-Score ( $p < .01$ ), Z-Score ( $p < .01$ )] respectively. Regarding the Gender factor, a statistically significant effect was observed on the T-Score ( $p < .05$ ) and Z-Score ( $p < .01$ ) of the total BMD of the vertebrae as well as the total BMD of the neck ( $p < .05$ ) and hip ( $p < .05$ ) while no significant differences were observed in the laboratory blood tests. The results of the present study show that resistance training from a young age has a positive effect on bone



density with an increase in peak bone mass values. Consequently, it could be a measure to prevent osteoporosis either with a delay in its onset or even its non-appearance.

**Keywords:** *resistance training, osteoporosis, peak bone density, prevention*

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>viii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>	<b>x</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>xi</b>
<b>I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>14</b>
Προσδιορισμός του προβλήματος.....	14
Σκοπός .....	16
Σημασία της έρευνας .....	16
Υποθέσεις της έρευνας.....	16
Οριοθετήσεις της έρευνας.....	18
Λειτουργικοί ορισμοί.....	19
<b>II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>22</b>
Φυσιολογία του οστίτη ιστού .....	22
Αρχιτεκτονική των οστών .....	23
Οστική Ανακατασκευή .....	25
Φάσεις οστικής ανακατασκευής .....	25
Μεταβολισμός των οστών κατά την ωρίμανση .....	26
Παράγοντες Ρύθμισης Οστικού Μεταβολισμού.....	28
Οστεοπόρωση .....	29
Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της οστεοπόρωσης .....	31
Τεχνικές Μέτρησης Οστικής πυκνότητας .....	32
Άσκηση και μυοσκελετική υγεία .....	36
Άσκηση με αντιστάσεις και οι επιδράσεις στο οστό .....	37
Προγράμματα άσκησης και πρόληψης της οστικής απώλειας .....	40
Συμπεράσματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....	42



<b>III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>43</b>
Δείγμα .....	43
Πειραματική διαδικασία συλλογής δεδομένων .....	43
Όργανα μέτρησης .....	44
Στατιστική ανάλυση .....	44
<b>VI. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>45</b>
<b>V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>56</b>
<b>VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>58</b>
<b>VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>60</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b>	Περιγραφική στατιστική των εργαστηριακών μετρήσεων σε συστηματικά αθλούμενους και μη αθλούμενους άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.....	52
-------------------	--	----



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.</b>	Οστική μάζα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής (Zhu & Zheng, 2021).....	25
<b>Σχήμα 2.</b>	Οστική πυκνότητα 1ου οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. <i>#p&lt;0.001: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών</i> .....	45
<b>Σχήμα 3.</b>	Οστική πυκνότητα 2ου οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. <i>#p&lt;0.001: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών</i> .....	46
<b>Σχήμα 4.</b>	Οστική πυκνότητα 3ου οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. <i>#p&lt;0.001: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών</i> .....	47
<b>Σχήμα 5.</b>	Οστική πυκνότητα 4ου οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. <i>#p&lt;0.01: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών, *p&lt;0.01: στατιστικά σημαντικές διαφορές από τους άνδρες</i> .....	48
<b>Σχήμα 6.</b>	Ολική οστική πυκνότητα σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. <i>#p&lt;0.01: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών</i> .....	49
<b>Σχήμα 7.</b>	Οστική πυκνότητα αυχένα μηριαίου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. <i>#p&lt;0.05: στατιστικά σημαντικές διαφορές από τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες, *p&lt;0.05: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων ανδρών</i> .....	50



**Σχήμα 8.** Ολική οστική πυκνότητα ισχίου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας. # $p < 0.05$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ συστηματικά αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών, \*\*\* $p < 0.001$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές από τις μη αθλούμενες γυναίκες.....



## Η επίδραση της άσκησης στην κορυφαία οστική μάζα σε νέο πληθυσμό ως μέτρο πρόληψης της οστεοπόρωσης

### Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οστεοπόρωση αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μεταβολική νόσο των οστών, με διαρκώς αυξανόμενη την εμφάνιση της. Ο μεγάλος επιπολασμός οφείλεται στον καθιστικό τρόπο ζωής που έχει υιοθετηθεί τα τελευταία χρόνια στις αναπτυγμένες κοινωνίες και στο παρατεταμένο προσδόκιμο επιβίωσης που ήταν αποτέλεσμα των εξελίξεων στις επιστήμες υγείας.

Σύμφωνα με το Οργανισμό Παγκόσμιας Υγείας (WHO), ως οστεοπόρωση ορίζεται η μείωση της οστικής πυκνότητας (Bone Mineral Density - BMD) και αλλαγή της φυσιολογικής μικροαρχιτεκτονικής δομής των οστών (Zouhal et al., 2021). Έτσι τα οστά καθίστανται μηχανικά αδύναμα, με συνέπεια την εμφάνιση καταγμάτων χαμηλής βίας (Lambert, Beck, Harding, Watson & Weeks, 2017). Καθώς η νόσος δεν εμφανίζει συμπτώματα, αποτελεί μια «σιωπηλή» νόσο και διαγιγνώσκεται με την επιπλοκή της, δηλαδή το κάταγμα. Οι Karlsson και συν. (2008) υπολόγισαν ότι τουλάχιστον το 50% του παγκόσμιου γυναικείου πληθυσμού και το 30% του ανδρικού θα υποστούν ένα κάταγμα ευθραυστότητας κατά την διάρκεια της ζωής τους. Τα κατάγματα αυτά αποτελούν βασικό παράγοντα αυξημένης νοσηρότητας, νοσηλειών και θνησιμότητας, ενώ η αντιμετώπιση τους δημιουργεί μεγάλο οικονομικό κόστος.

#### Προσδιορισμός του προβλήματος

Η οστεοπόρωση συνδέεται με την σαρκοπενία, την αποτυχία του ιστού σε τρεις παραμέτρους: i) τη μυϊκή ισχύ, ii) την ποσότητα/ποιότητα μυϊκού ιστού και iii) τη μειωμένη ικανότητα στη φυσική δραστηριότητα. Η φυσική αυτή αλλοίωση οφείλεται στην ηλικία, εμφανίζεται όμως και σε μικρότερες ηλικιακές ομάδες, λόγω χαμηλών επιπέδων φυσικής δραστηριότητας και άλλης παθολογίας (Cruz-Jentoft et al., 2019). Μια αναδρομική μελέτη



και μετα-ανάλυση των Xiaochao Yu και συν. (2022), βασιζόμενη σε μελέτες από το 2000 έως το 2022, έδειξε ότι η σχέση της σαρκοπενίας με την οστεοπόρωση είναι αμφίδρομη. Η παθοφυσιολογία αυτής της σχέσης είναι αρκετά πολύπλοκη και πολυπαραγοντική, σχετιζόμενη με τον μεταβολισμό των ιστών και το κεντρικό νευρικό σύστημα. Πλέον, υπάρχουν ολοένα αυξανόμενα στοιχεία που θεωρούν αυτές τις δύο οντότητες ως μία, την οστεοσαρκοπενία ή αλλιώς γηριατρικό σύνδρομο (Kemmler, Kohl, Jacob, Engelke & Von Stengel, 2020). Για τους λόγους αυτούς και καθώς προβλέπεται ότι ο αριθμός των καταγμάτων ευθραυστότητας θα αυξηθεί στο μέλλον, η ανάγκη για πρόληψη της νόσου είναι επιτακτική ώστε να αποφευχθεί η νοσηρότητά της. Μια τέτοια παρέμβαση θα πρέπει να είναι ευρέως προσβάσιμη, οικονομικά προσιτή και να μην προκαλεί παρενέργειες (Karlsson & Rosengren, 2020).

Η άσκηση αποτελεί μια τέτοια μορφή πρόληψης της οστεοπόρωσης. Η άσκηση όπως προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία, βοηθά στην αντιμετώπιση της οστεοπόρωσης σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες και άντρες άνω των 65 ετών, μειώνοντας τον ρυθμό απώλειας οστικής πυκνότητας, που επέρχεται από το γήρας. Μάλιστα, οι Wolfe και συν. (1999), στη μετανάλυσή τους, υπολόγισαν ότι η άσκηση διατήρησε τη BMD κατά 1% ανά χρόνο σε ενήλικες και στην οσφύ και στον αυχένα του ισχίου. Όμοιες μελέτες των Goings και Lauder milk (2009) παρουσίασαν αύξηση της BMD κατά 1% με 3% και στις δύο ανατομικές περιοχές αντίστοιχα.

Οι υπάρχουσες έρευνες όμως στοχεύουν σε μεγαλύτερες ηλικιακές ομάδες. Αν και η οστεοπόρωση αποτελεί νόσο της τρίτης ηλικίας, φαίνεται ότι η πορεία της ορίζεται από παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνονται κατά την εφηβική ηλικία και την πρώιμη ενήλικη ζωή με βασικότερο την κορυφαία οστική μάζα (Peak Bone Mass - PBM) ως τροποποιήσιμη παράμετρος. Αν και το 95% της οστικής πυκνότητας κατοχυρώνεται ως την ηλικία των 18 ετών (Ciancia et al., 2022), η διατήρηση και κορύφωσή της συνεχίζεται έως το τέλος της τρίτης δεκαετίας της ζωής του ανθρώπου. Κατά συνέπεια, έχει ενδιαφέρον να μελετηθεί η επίδραση της συμμετοχής σε προγράμματα άσκησης μυϊκής ενδυνάμωσης όσον αφορά στην κορυφαία οστική πυκνότητα νεαρών ατόμων.



### **Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της άσκησης με αντιστάσεις στην αύξηση της κορυφαίας οστικής πυκνότητας σε νεαρό πληθυσμό.

### **Σημασία της έρευνας**

Η οστεοπόρωση είναι μία πολυπαραγοντική νόσος με πολλαπλές αιτίες, όπως ορμονικές, μεταβολικές, διατροφικές και περιβαλλοντικές, στις οποίες συγκαταλέγεται η έλλειψη φυσικής δραστηριότητας. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες δημιουργίας της οστικής μάζας ωστόσο, αποτελεί η μηχανική φόρτιση των οστών, δηλαδή η ανταπόκριση των οστών στις αθλούμενες δυνάμεις και πιέσεις που δέχονται (Sinaki et al., 2002; Vuori, 2001). Είναι γεγονός ότι η κυριότερη έκφραση της μηχανικής φόρτισης επέρχεται μέσω της άσκησης. Παράλληλα, η επίτευξη μεγαλύτερης κορυφαίας οστικής πυκνότητας κατά την περίοδο ανάπτυξης και αιχμής της, αποτελεί μέτρο πρόληψης για την εμφάνιση οστεοπόρωσης στην τρίτη ηλικία. Κατά συνέπεια, οι πιθανότητες για κατάγματα ευθραυστότητας μειώνονται και υπάρχει καλύτερη ποιότητα ζωής όσο περνάει η ηλικία. Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες και ενισχύουν τον ρόλο της άσκησης με αντιστάσεις στην επίτευξη της μεγαλύτερης κορυφαίας οστικής πυκνότητας σε νεαρά άτομα που ασκούνται συστηματικά συγκριτικά με μη αθλούμενους. Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι η αύξηση της κορυφαίας οστικής πυκνότητας σε νεαρή ηλικία, μέσω της φυσικής άσκησης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα πρόληψης της οστεοπόρωσης (Heinonen et al., 2000).

### **Υποθέσεις της έρευνας**

Οι βασικές ερευνητικές υποθέσεις της παρούσας εργασίας ήταν:

- Ο παράγοντας “Φύλο” επηρεάζει την οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score)



- Ο παράγοντας “Άσκηση” επηρεάζει την οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score)
- Ο παράγοντας “Φύλο” επηρεάζει τις εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)]
- Ο παράγοντας “Άσκηση” επηρεάζει τις εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)]

#### Στατιστικές υποθέσεις

Οι μηδενικές και οι εναλλακτικές υποθέσεις της παρούσας εργασίας ήταν:

H0: Δεν υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στην οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score) μεταξύ ανδρών και γυναικών.

H1: Υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στην οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score) μεταξύ ανδρών και γυναικών.

H0: Δεν υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στην οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score) μεταξύ συστηματικά αθλουμένων και μη αθλουμένων.

H1: Υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στην οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score) μεταξύ συστηματικά αθλουμένων και μη αθλουμένων.



H0: Δεν υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στις εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)] μεταξύ ανδρών και γυναικών.

H1: Υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στις εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)] μεταξύ ανδρών και γυναικών.

H0: Δεν υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στις εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)] μεταξύ συστηματικά αθλουμένων και μη αθλουμένων.

H1: Υπάρχουν στατιστικές σημαντικές διαφορές στις εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)] μεταξύ συστηματικά αθλουμένων και μη αθλουμένων.

### **Οριοθετήσεις της έρευνας**

Οι οριοθετήσεις της παρούσας μελέτης σχετικά με την επιλογή του δείγματος ήταν οι εξής:

- Στη μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 40 ενήλικα νεαρά άτομα, ηλικίας  $27,50 \pm 2,81$  ετών.



- Οι συστηματικά αθλούμενοι/ες ασκούνταν τουλάχιστον 3 φορές την εβδομάδα τα τελευταία 3 χρόνια και εκτελούσαν τουλάχιστον 2 σετ των 10-12 επαναλήψεων ανά μυϊκή ομάδα, για τουλάχιστον 8 μυϊκές ομάδες.
- Οι συμμετέχοντες στην Ομάδα Ελέγχου δεν συμμετείχαν σε οποιαδήποτε οργανωμένη μορφή άσκησης.
- Από την έρευνα αποκλείστηκαν άτομα που λόγω μυοσκελετικής ή άλλης παθολογίας, δεν μπορούσαν να αθληθούν (μυοσκελετικές παθήσεις, πρόσφατοι σοβαροί τραυματισμοί και ορθοπεδικά χειρουργεία). Άλλα κριτήρια αποκλεισμού ήταν η εγκυμοσύνη, υψηλό BMI > 45kg/m<sup>2</sup>, αυτοάνοσα νοσήματα και μεταβολική νόσος.

### **Λειτουργικοί ορισμοί**

*Αλκαλική φωσφατάση (Alkaline phosphates-ALP):* Γλυκοπρωτεΐνη – ένζυμο, ευρέως διαδεδομένο στους οργανισμούς. Συμμετέχει σε ποικίλες διαδικασίες του σώματος. Ανάλογα με τη θέση παραγωγής διακρίνονται τέσσερις ομάδες ισοενζύμων αλκαλικής φωσφατάσης: εντερική, ηπατική, νεφρική, οστική. Τα επίπεδα στον ορό υπολογίζονται από 20 έως 140U/L (Dharma, Pal & Prasad, 2013).

*Ασβέστιο (Ca):* Το ασβέστιο αποτελεί στοιχείο του οργανισμού με το 99% να βρίσκεται στα οστά και δόντια. Η ποσότητα του ασβεστίου φθάνει περίπου τα 1200gr σε ενήλικα μέσου βάρους (2% του βάρους του). Συμμετέχει κυρίως στην κατασκευή των οστών, τη νευρομυϊκή διεγερσιμότητα, τη πήκτικότητα του αίματος, την ακεραιότητα των μεμβρανών των κυττάρων (Ciosek, Kot, Kosik-Bogacka, Lamocho-Arendarczyk & Rotter, 2021).

*Βιταμίνη D:* Στεροειδής ορμόνη που συμμετέχει στον μεταβολισμό του ασβεστίου και την ομοιόσταση των οστών. Λαμβάνεται με την τροφή ή δημιουργείται στο δέρμα από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Αυξάνει την απορρόφηση του ασβεστίου από το έντερο, αυξάνει την επαναπορρόφηση του ασβεστίου από τους νεφρούς και συμβάλλει μαζί με την παραθορμόνη στην επασβέστωση του οστεοειδούς και τη διατήρηση σταθερού επιπέδου ιονισμένου ασβεστίου στο εξωκυττάριο υγρό (Saronaro, Saba & Zucchi, 2020).



*Διαγνωστικό κριτήριο οστεοπόρωσης:* Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO 1994), διαγνωστικό κριτήριο οστεοπόρωσης αποτελεί η ελάττωση της οστικής πυκνότητας (B.M.D.) περισσότερο από 2.5 σταθερές αποκλίσεις (SD) από τη μέση τιμή της κορυφαίας οστικής μάζας φυσιολογικών νεαρών ασθενών (Πουρνάρας, 2009)

*Δοκίδες:* Σχηματίζονται από ίνες κολλαγόνου της μητρικής οστέινης ουσίας που είναι επασβεστωμένες και αποτελούν την αρχιτεκτονική μονάδα του σπογγώδους οστού (Vander, Sherman & Luciano, 2001).

*Dual Energy X-ray Absortiometry (D.E.X.A):* μεταφράζεται ως η μέθοδος της απορροφησιομετρίας ακτίνων-Χ διπλής ενέργειας και έχει αναγνωριστεί ως το gold standard για την διάγνωση της οστεοπόρωσης Maghraoui & Roux, 2008).

*Z-Score:* Προγνωστικός δείκτης οστικής πυκνότητας. Αριθμός που δείχνει την απόκλιση του μετρούμενου από τον «φυσιολογικό» πληθυσμό που έχει οριστεί στις βάσεις δεδομένων των μηχανημάτων DEXA (McKiernan, Berg & Linneman, 2010).

*Καλσιτονίνη (CT):* Η καλσιτονίνη είναι ορμόνη που εκκρίνεται κυρίως από τα παραθυλακιώδη κύτταρα (c-cells) του θυροειδούς αδένου. Βιολογικά η καλσιτονίνη είναι ένα πολυπεπτίδιο. Η αύξηση του επιπέδου του ασβεστίου στο αίμα αποτελεί ερέθισμα για έκκριση της καλσιτονίνης. Στα οστά δρα αναστέλλοντας την οστεόλυση, με την ελάττωση του αριθμού και της δραστηριότητας των οστεοκλαστών (Xie et al., 2020).

*Οστεοβλάστες:* το βασικό κύτταρο κατασκευής του ιστού, βρίσκονται στην επιφάνεια της οστικής δοκίδας και στο εσωτερικό του περιοστέου (Vander, Sherman & Luciano, 2001).

*Οστεοκαλσίνη (Bone Gla Protein BGB ή OC):* Η κυριότερη μη κολλαγονική πρωτεΐνη της θεμέλιας ουσίας του οργανικού τμήματος του οστού. Συντίθεται από τους οστεοβλάστες. Ρόλος της είναι η δέσμευση ασβεστίου και φωσφόρου και δημιουργούνται πυρήνες εναπόθεσης υδροξυαπατίτη (Komori, 2020)

*Οστεοκλάστες:* προέρχονται από διαφοροποιημένα προγονικά μονοκύτταρα. Είναι μεγάλα πολυπύρρηνα κύτταρα με άφθονο κυτταρόπλασμα, πλούσιο σε λυσοσώματα, συσκευή Golgi, εκκριτικά κυστίδια και μιτοχόνδρια. Εντοπίζονται στα βοθρία του Howship. Ρόλος τους είναι η απομάκρυνση ασβεστίου από το οστό εκκρίνοντας πρωτεολυτικά ένζυμα και ιόντα υδρογόνου (Baig & Bacha, 2023).



*Οστεοπόρωση:* Μεταβολικό νόσημα των οστών που χαρακτηρίζεται από ελάττωση της οστικής μάζας και διαταραχή της αρχιτεκτονικής του οστίτη ιστού. Ο ρυθμός απορρόφησης είναι μεγαλύτερος του ρυθμού εναπόθεσης νέου οστού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της μηχανικής αντοχής του οστού και θραύση του (Πουρνάρας, 2009).

*Οστική πυκνότητα (Bone Mineral Density-BMD):* Περιεκτικότητα οστικών αλάτων κατ' όγκο σε  $\text{g}/\text{cm}^3$  και αντιστοιχεί της μηχανικής αντοχής του οστού in vitro. (Asprey & Hill, 2019).

*Οστίτης ιστός:* Ο οστίτης ιστός αποτελείται από ασβεστοποιημένη μεσοκυττάρια ουσία και από τρία διαφορετικά είδη κυττάρων, τους οστεοβλάστες, τα οστεοκύτταρα και τους οστεοκλάστες (Πουρνάρας, 2009).

*Παραθορμόνη (PTH):* εκκρίνεται στους παραθυροειδείς αδένες για την διατήρηση της ομοιόστασης του ασβεστίου μέσω απορρόφησης οστού. Η παραγωγή της βασίζεται στα επίπεδα ασβεστίου και φωσφόρου στον ορό του αίματος. (Wodja & Donahue, 2018).

*T-Score:* Προγνωστικός δείκτης οστεοπόρωσης που συγκρίνει τον μετρούμενο με τον υγιή πληθυσμό (Faulkner, 2004).

*Φώσφορος (P):* Ο φώσφορος είναι διακυττάριο μακροστοιχείο του οργανισμού και με το ασβέστιο συμμετέχουν στη φυσιολογική ανάπτυξη και λειτουργία του σκελετού και πολλές άλλες λειτουργίες. Ο οργανισμός ενός φυσιολογικού ενήλικα περιέχει περίπου 550-770 gr φωσφόρου από τα οποία το 80-85% βρίσκονται στο σκελετό και περίπου 10% στους μύς (Ciosek et al., 2021).



## II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### Φυσιολογία του οστίτη ιστού

Ο οστίτης ιστός αποτελεί μια μορφή λειτουργικού συνδετικού ιστού με μηχανικές και μεταβολικές ιδιότητες. Οι λειτουργίες των οστών είναι η μηχανική στήριξη του σώματος, η κίνηση με τη δημιουργία μοχλών από τα μακρά οστά στα οποία προσφύονται οι μύες, προστασία ευαίσθητων οργάνων (κρανίο, θώρακας και πύελος), μεταβολική αποθήκη αλάτων και αιμοποιητικό όργανο με τον μυελό των οστών. Δομείται από κύτταρα, εξωκυττάρια ουσία, ανόργανα άλατα και νερό (Vander, Sherman & Luciano, 2001).

Τα κύτταρα του οστίτη ιστού περιλαμβάνουν τα αρχέγονα οστικά κύτταρα, τους οστεοβλάστες, τα οστεοκύτταρα και τους οστεοκλάστες.

Οι οστεοβλάστες, το βασικό κύτταρο κατασκευής του ιστού, βρίσκονται στην επιφάνεια της οστικής δοκίδας και στο εσωτερικό του περιosteού. Στην ανενεργή φάση έχουν σχήμα ατρακτοειδές ενώ στην ενεργή είναι πολύεδρο με πλούσιο βασεόφιλο κυτταρόπλασμα (υπεύθυνο για την πρωτεϊνοσύνθεση και την εκκριτική τους λειτουργίες). Παράγουν το οστεοειδές και είναι υπεύθυνοι για την ασβεστοποίηση του με εναπόθεση ανόργανων αλάτων. Τα κυστίδια θεμέλιας ουσίας είναι πλούσια σε ένζυμα αλκαλικής φωσφατάσης και φωσφορυλάσης. Τα ένζυμα αυτά των οστεοβλαστών αυξάνουν την συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου και φωσφόρου. Η οστεοκαλσίνη και οι οστεοπρωτεΐνες δεσμεύουν ιόντα ασβεστίου και φωσφόρου και δημιουργούνται πυρήνες εναπόθεσης υδροξυαπατίτη (Komori, 2020).

Τα οστεοκύτταρα προέρχονται από διαφοροποιημένους οστεοβλάστες αφού αυτά ολοκληρώσουν την παραγωγή του οστεοειδούς. Από το ατρακτοειδές σχήμα των οστεοβλαστών, τα οστεοκύτταρα αποκτούν διακλαδισμένο σχήμα και βρίσκονται σε ενδιάμεσους των πεταλίων χώρους, τα οστικά βοθρία. Τα οστεοκύτταρα αλληλοσυνδέονται με τις κυτταροπλασματικές αποφυάδες τους με χασματικές συνδέσεις, με τις οποίες και τα οστικά τους σωληνάκια επικοινωνούν με γειτονικά κύτταρα, την



εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια του οστού και αιμοφόρα αγγεία. Περιβάλλονται από οστεοποιημένα εξωκυττάρια θεμέλια ουσία και συμβάλλουν στην διατήρηση του οργανικού στοιχείου του οστεοειδούς, ενώ κατά την οστεοκυτταρική οστεόλυση απορροφούν οστέινη ουσία (Hart et al., 2020).

Οι οστεοκλάστες προέρχονται από διαφοροποιημένα προγονικά μονοκύτταρα, τα μακροφάγα του μυελού των οστών και όχι από την οστεοπρογονική σειρά. Δομικά είναι μεγάλα πολυπύρρηνα κύτταρα με άφθονο κυτταρόπλασμα, πλούσιο σε λυσοσώματα, συσκευή Golgi, εκκριτικά κυστίδια και μιτοχόνδρια). Εντοπίζονται στα βοθρία του Howship. Ρόλος τους είναι η απομάκρυνση ασβεστίου από το οστό εκκρίνοντας πρωτεολυτικά ένζυμα και ιόντα υδρογόνου (Baig & Bacha, 2023).

Η εξωκυττάρια θεμέλια ουσία διακρίνεται σε οργανικό (35%) και ανόργανο (65%) στοιχείο. Το ανόργανο στοιχείο αποτελείται από ενώσεις φωσφορικών αλάτων - κρύσταλλοι υδροξυαπατίτη. Οι κρύσταλλοι αυτοί εναποτίθενται κατά μήκος των ινών κολλαγόνου, μια διαδικασία που ενισχύεται από μη κολλαγονικές πρωτεΐνες. Το οργανικό τμήμα ή οστεοειδές σχηματίζεται από ίνες κολλαγόνου τύπου 1 (90%), πρωτεογλυκάνες εμπλουτισμένες με υαλουρονικό οξύ,θειική χονδροϊτίνη και θειική κερατίνη και μη κολλαγονικές πρωτεΐνες (οστεοκαλσίνη, οστεοποντίνη και οστεονεκτίνη) οι οποίες παράγονται από τους οστεοβλάστες. Οι ίνες κολλαγόνου τύπου 1, αποτελούν το 90% της οργανικής θεμέλιας ουσίας (Keirszenbaum & Tres, 2013).

### **Αρχιτεκτονική των οστών**

*Μικροσκοπική δομή οστών:* Με βάση την οργάνωση των ινών κολλαγόνου της εξωκυττάριας ουσίας, διακρίνονται δύο τύποι οστών και συγκεκριμένα: το πεταλιώδες και το δικτυωτό (πρωτογενές). Το πεταλιώδες οστό είναι συμπαγές ώριμο οστό, μηχανικά ισχυρό και βραδύ σχηματισμό. Οι ίνες κολλαγόνου είναι κανονικά διαταγμένες. Αντίθετα στο δικτυωτό οστό οι ίνες είναι ακανόνιστα διαταγμένες, σχηματίζεται με ταχύ ρυθμό αλλά είναι μηχανικά αδύναμο. Το δικτυωτό οστό σταδιακά αντικαθίσταται από πεταλιώδες οστό (Hart et al., 2020).



Το πεταλιώδες οστό απαρτίζεται από οστεοκύτταρα και θεμέλια ουσία οργανωμένη σε πετάλια/στιβάδες. Τα οστεοκύτταρα βρίσκονται σε βοθρία των πεταλίων και επικοινωνούν μεταξύ τους με σωληνίσκους. Οι διαφορετικές δομές του πεταλιώδους οστού είναι: τα συστήματα του Havers/οστεόνας, τα ενδιάμεσα πετάλια, τα εξωτερικά (στο περιόστεο) και τα εσωτερικά περιφερικά πετάλια (στο ενδόστεο). Η αιμάτωση γίνεται από τα επιμήκη αγγεία του σωλήνα του Havers και από τους σωλήνες του Volkmann που είναι εγκάρσιοι και λοξοί, με τους οποίους υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των αβέρσιων σωληνίων. Αυτά τα αιμοφόρα αγγεία προέρχονται από τον μυελό των οστών και το περιόστεο (Klein-Nulend, Bacavac & Mullander, 2004).

*Μακροσκοπική δομή οστών:* Με βάση τη μικροσκοπική αρχιτεκτονική τους, τα οστά διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες: το φλοιώδες και το σπογγώδες. Οι δύο αυτές κατηγορίες διαφέρουν στις μηχανικές και λειτουργικές ιδιότητες τους. Το φλοιώδες οστό, αποτελεί το 80% του ανθρώπινου σκελετού και είναι εμβιομηχανικά ισχυρότερο από το σπογγώδες. Όντας πυκνότερο, αντιστέκεται σε καμπτικές, συμπιεστικές και στροφικές δυνάμεις, έχοντας όμως μικρό ρόλο στον μεταβολισμό των οστών. Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των μακρών οστών αλλά και εξωτερικό περίβλημα για το σπογγώδες (Baig et al., 2023; Augat & Schorlemmer, 2006). Το σπογγώδες οστό είναι περισσότερο δυναμικό, αποτέλεσμα της ελαστικής του ιδιότητας (Oftadeh, Pere-Viloria, Villa-Camacho, Vaziri & Nazarian, 2014). Αν και μόνο το 20% του οστίτη ιστού, καλύπτει δεκαπλάσια επιφάνεια από το φλοιώδες λόγω τις μικρότερης πυκνότητάς του. Λόγω της δομής του, είναι λιγότερο ισχυρό από το φλοιώδες. Επηρεάζεται από την εφαρμογή εξωτερικών δυνάμεων και προσαρμόζεται σε αυτές σύμφωνα με τον νόμο του Wolff (Shaw & Stock, 2009). Εντοπίζεται σε περιοχές που φορτίζονται (συμπιέζονται) δηλαδή στους σπονδύλους, τα οστά της λεκάνης και στις μεταφύσεις των μακρών οστών (Keaveny, Morgan, Niebur & Yeh, 2001).



## **Οστική Ανακατασκευή**

Τα οστά αποτελούν ένα συνεχώς ενεργό όργανο, το οποίο διαρκώς επιδιορθώνει και ανακατασκευάζει την δομή του με στόχο την μέγιστη ισχύ του. Η ανακατασκευή πραγματοποιείται καθ' όλη την ενήλικη ζωή από την ισορροπημένη λειτουργία των οστεοκλαστών και των οστεοβλαστών (Keirszenbaum & Tres, 2013).

Η οστική ανακατασκευή περιγράφηκε πρώτη φορά το 1990 από τον Frost, ως μια στενή αλληλουχία διαδικασιών για αντικατάσταση του παλιού και κατεστραμμένου οστού με νέο. Ο κύκλος αυτός είναι αποτέλεσμα της επικοινωνίας οστεοκλαστών και οστεοβλαστών (Moskilde, Thomsen & Mosekilde, 1995). Πιο συγκεκριμένα, τα ερεθίσματα/δυνάμεις που ασκούνται συνεχώς στον σκελετό, προκαλούν αλλοιώσεις στην επικοινωνία των οστεοκυττάρων. Οι μικρορωγμές αυτές, αν δεν αποκατασταθούν, θα συσσωρευθούν και θα οδηγήσουν στο κάταγμα. Έτσι, ξεκινά ένας κύκλος απορρόφησης κατεστραμμένου οστού και αντικατάστασή του με ίση ποσότητα νέου με ανέπαφη αρχιτεκτονική δομή (Hadjidakis & Androulakis, 2006). Είναι σημαντικό οι λειτουργίες απορρόφησης και παραγωγής οστού να είναι ισορροπημένες. Σε αντίθετη περίπτωση, η ποσότητα νέου ιστού είναι ποσοτικά λιγότερη από τον απορροφηθέν με αποτέλεσμα εξασθένηση του οστού – οστεοπόρωση.

Υπάρχουν δύο τύποι οστικής ανακατασκευής: η φλοιώδης (cortical) και η δοκιδώδης (trabecular). Στη φλοιώδη ανακατασκευή ένα αβερσιανό σύστημα αντικαθίσταται από ένα νέο και η διαδικασία γίνεται από οστεοκλάστες και οστεοβλάστες στην εσωτερική επιφάνεια του οστεώνα. Στην δοκιδώδη, οι οστικές δοκίδες του σπογγώδους οστού αντικαθίστανται από νέες και η διαδικασία επιτελείται από τα κύτταρα στην επιφάνεια των δοκιδών (Keirszenbaum & Tres, 2013).

## **Φάσεις οστικής ανακατασκευής**

Η διαδικασία της ανακατασκευής διακρίνεται σε πέντε φάσεις, μη διακριτές η μία από την άλλη. Οι φάσεις αυτές είναι: i) η φάση της ενεργοποίησης, ii) της απορρόφησης,



iii) της αντιστροφής, iv) του σχηματισμού και v) του τερματισμού της διαδικασίας (Kenkre & Bassett, 2020).

Πιο συγκεκριμένα, η αναδόμηση του συμπαγούς οστού (φλοιώδης αναδόμηση) ξεκινά με την ενεργοποίηση και την συσσώρευση προγονικών κυττάρων στην εσωτερική επιφάνεια του αβερσιανού σωλήνα, τα οποία διαφοροποιούνται σε οστεοκλάστες. Έπειτα ακολουθεί η φάση της απορρόφησης, όπου οι οστεοκλάστες απορροφούν το οστό με κατεύθυνση από τα έσω προς τα έξω. Η φάση αυτή διαρκεί για 2 εβδομάδες και ξεπερνά τα όρια του αρχικού οστεώνα με την επιστράτευση επιπλέον οστεοκλαστών. Μόλις ολοκληρωθεί η απορρόφηση ξεκινά η αντίστροφη διαδικασία, η φάση αναστροφής, με την εμφάνιση οστεοβλαστών σε μία στιβάδα στην κοιλότητα της επαναρρόφησης. Η αναστροφή διαρκεί έως και 5 εβδομάδες. Στην φάση του σχηματισμού, οι οστεοβλαστες παράγουν το οστεοειδές. Η διαδικασία ξεκινά από τη συγκολλητική γραμμή με κατεύθυνση προς το κέντρο του οστεώνα με σχηματισμό νέων πεταλίων και μπορεί να διαρκέσει 4 μήνες, έως ότου το νέο οστό έχει πλήρως σχηματιστεί. Ο σχηματισμός ολοκληρώνεται - φάση τερματισμού - με τη μετατροπή των παγιδευμένων οστεοβλαστών στην εφалаτωμένη οστική θεμέλια, σε οστεοκύτταρα.

Στο σπογγώδες οστό, η διαδικασία της αναδόμησης είναι παρόμοια με το φλοιώδες, με τη διαφορά ότι η απορρόφηση ξεκινά από την επιφάνεια της οστικής δοκίδας μέχρι την συγκολλητική γραμμή. Από εκεί οι οστεοβλάστες παράγουν νέο οστό έως ότου να αντικατασταθεί το απορροφηθέν οστό (Kierszenbaum et al. 2013; Kenkre et al., 2020).

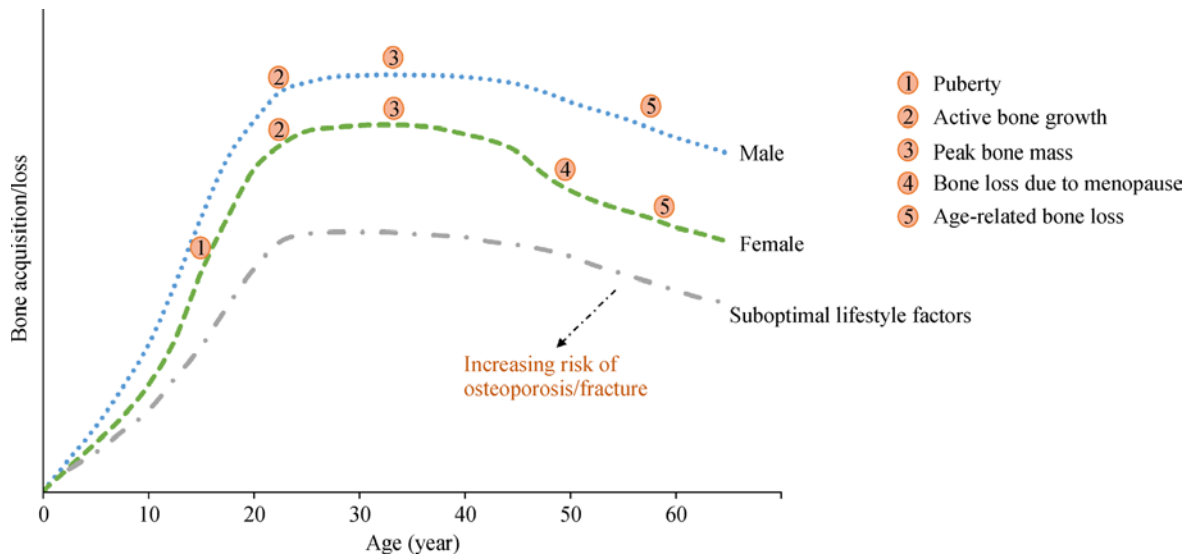
### **Μεταβολισμός των οστών κατά την ωρίμανση**

Καθώς το ανθρώπινο σώμα αναπτύσσεται, ο σκελετός περνά από διάφορα στάδια μεταβολών της οστικής πυκνότητας από την εμβρυική ζωή ως την ενήλικη ζωή. Έχουν περιγραφεί δύο περίοδοι αναβολισμού των οστών: α) στα πρώτα τρία χρόνια της ζωής και β) κατά τη διάρκεια της εφηβείας (11-14 για τα κορίτσια και 13-17 για τα αγόρια).

Ο χρόνος εμφάνισης της κορυφαίας οστικής μάζας εντοπίζεται στο τέλος της ανάπτυξης (Σχήμα 1) και είναι ένας πολύ σημαντικός προγνωστικός δείκτης της οστεοπόρωσης και του κινδύνου κατάγματος στο μέλλον. Γενικά, η οστική μάζα αυξάνεται



σημαντικά κατά τα πρώτα 20 χρόνια φτάνοντας σε κορύφωση στα τέλη της εφηβείας ή στη νεαρή ηλικία ενηλικίωσης σε άνδρες και γυναίκες (Faulkner & Bailey, 2007; Bachrach, Hastie, Wang, Narasimhan & Marcus, 1999).



**Σχήμα 1.** Οστική μάζα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής (Zhu & Zheng, 2021).

Έρευνες έχουν δείξει ότι μετά τη γέννηση και για τα πρώτα 3 χρόνια, οι βιοδείκτες οστικού μεταβολισμού είναι σε αρκετά υψηλότερα επίπεδα από τα αντίστοιχα των ενηλίκων. Αυτό οφείλεται προφανώς στον δευτεροπαθή υπερπαραθυρεοειδισμό των νεογνών. Στο τρίτο έτος της ηλικίας οι βιοδείκτες επιστρέφουν στα φυσιολογικά επίπεδα (Szulc, Seeman & Delmas, 2000). Η περίοδος της εφηβείας αποτελεί σημαντική περίοδο οστικής ανάπτυξης, τόσο για το μήκος των οστών όσο και για την αύξηση της BMD (Bonjour & Chevalley, 2014). Ευνοϊκά σε αυτή τη διαδικασία δρα η αυξητική ορμόνη (Seeman, 2001). Στο τέλος των δύο αυτών περιόδων έχει αποκτηθεί το 90-95% της συνολικής BMD. Μετέπειτα επιδράσεις εξωγενείς και ενδογενείς επηρεάζουν την BMD είτε αρνητικά είτε θετικά διαμορφώνοντας τη μέγιστη οστική πυκνότητα (Matkovic et al., 1994).

Διαχρονικά δεδομένα έχουν δείξει επίσης ότι στις γυναίκες και στους άνδρες, περισσότερο από το 94% της BMD αποκτάται στην ηλικία των 16 ετών (Berger et al., 2010). Η εφηβεία βέβαια είναι μια σημαντική περίοδος για την απόκτηση οστού και συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην τιμή της κορυφαίας οστικής μάζας (Bonjour & Chevalley, 2014). Ωστόσο, η χρονική στιγμή της κορυφαίας οστικής μάζας εξακολουθεί να αμφισβητείται.



Μελέτες επίσης αναφέρουν ότι η οστική μάζα εξακολουθεί να συσσωρεύεται μέχρι την τρίτη δεκαετία της ζωής (Recker et al., 1992; Teegarden et al., 1995).

### **Παράγοντες Ρύθμισης Οστικού Μεταβολισμού**

Όπως αναφέρθηκε, η ανακατασκευή των οστών είναι μία πολύπλοκη διαδικασία, ρυθμιζόμενη σε πολλαπλά επίπεδα από συστηματικούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι ορμόνες και πρωτεΐνες των οστικών κυττάρων.

Η παραθορμόνη (Parathormone – PTH) εκκρίνεται στους παραθυροειδείς αδένες και κύριος ρόλος της είναι η διατήρηση της ομοιόστασης του ασβεστίου μέσω απορρόφησης οστού. Η παραγωγή της βασίζεται στα επίπεδα ασβεστίου και φωσφόρου στον ορό του αίματος. Εκκρίνεται στο 70% συνεχόμενα και στο 30% σε ώσεις/διαλλειματικά (Wodja & Donahue, 2018). Η συνεχής παραγωγή και τα υψηλά της επίπεδα έχουν καταβολική δράση στο οστό, ενώ η διαλλειματική παραγωγή αναβολική (Wein & Kronenberg, 2023). Ανταγωνιστικά στην παραθορμόνη δρα η καλσιτονίνη. Παραγόμενη από τα κύτταρα C του θυροειδούς αδένου, στόχο έχει να ανατρέψει την υπερασβεστιαμία, σταματώντας την απορρόφηση ασβεστίου από το έντερο, αυξάνοντας την έκκριση του από τους νεφρούς και αναστέλλοντας την οστική απορρόφηση, απενεργοποιώντας τους οστεοκλάστες (Xie et al., 2020; Pondel, 2000). Οι φυλετικές ορμόνες παίζουν σημαντικό ρόλο στην οστική ανακατασκευή. αρχικά υπήρχε η πεποίθηση ότι τα οιστρογόνα δεν έχουν ρόλο στην οστική ανακατασκευή στο αρσενικό φύλο. Στα μέσα του 1990 έρευνες απέδειξαν ότι τα οιστρογόνα συμβάλουν το ίδιο και στα δύο φύλα, αποτελώντας την βασική φυλετική ορμόνη για την ανάπτυξη των οστών (Khosla, Oursler & Monroe, 2012). Η αναβολική τους δράση έγκειται στο γεγονός ότι μειώνουν την ευαισθησία ενεργοποίησης των οστεοκλαστών, αυξάνουν τον πολλαπλασιασμό των οστεοβλαστών και καθυστερούν την διαδικασία απόπτωσης τους (Khosla & Monroe, 2018). Τα ανδρογόνα σε μικρότερο βαθμό, ενισχύουν την σκελετική ανάπτυξη δια μέσω υποδοχέων στην επιφάνεια όλων των οστικών κυττάρων. Οι θυροειδικές ορμόνες έχουν μελετηθεί εδώ και 200 περίπου χρόνια για τον ρόλο τους στην σκελετική ανάπτυξη. Έχει αποδειχθεί ότι ρόλο έχουν τόσο στην απορρόφηση όσο και στον σχηματισμό νέου οστού. (Bassett & Williams, 2015)



Η βιταμίνη D αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των ενδοκρινικών μονοπατιών του οργανισμού και μπορεί πλέον να θεωρηθεί λόγω της δράσης της ορμόνη. Ως ουσία μελετάται εδώ και έναν αιώνα για τις θετικές της επιδράσεις (Beckett, 2020) Κυριότερός της ρόλος είναι η ομοιοστασία του ασβεστίου στον οργανισμό, κάτι που επιτυγχάνεται με επιδράσεις σε πολλά όργανα (ήπαρ, νεφρούς, παραθυρεοειδής αδένες, πεπτική οδό και οστά (Bassett et al., 2015). Η καλσιτριόλη, ή αλλιώς 1,25-διυδροξυκαλσιφερόλη, αποτελεί την ενεργή μορφή της βιταμίνης D. Η βιταμίνη D υδρολύεται στο ήπαρ σε άλφακασιδόλη, η οποία υδροξυλιώνεται ξανά στους νεφρούς σε καλσιτριόλη. Ρόλος του αναλόγου της βιταμίνης D είναι η απορρόφηση ασβεστίου και φωσφόρου από τον γαστρεντερικό σωλήνα, στοιχεία απαραίτητα για τον σχηματισμό νέου οστού (Peppone et al., 2010).

### **Οστεοπόρωση**

Η οστεοπόρωση, εξορισμού είναι η μείωση της ποσότητας εφαιλατωμένου οστού. Αυτό σημαίνει την μειωμένη κατανομή οστού ανά μονάδα όγκου. Οι πόροι του σπογγώδους οστού αυξάνονται σε μέγεθος, αλλάζοντας την αρχιτεκτονική δομή του οστού και καθιστώντας το μηχανικά αδύναμο. Η μείωση της οστικής μάζας οφείλεται στην διαταραχή της ισορροπίας μεταξύ οστικής απορρόφησης και παραγωγής νέου οστού, με την απορρόφηση να υπερτερεί. Αυτή η διαταραχή προκαλείται από την αυξημένη δραστηριότητα των οστεοκλαστών αλλά και από τον διαταραγμένο μεταβολισμό της βιταμίνης D και του ασβεστίου (Πουρνάρας, 2009). Για τους άντρες μετά το σαρακοστό έτος ηλικίας έχει υπολογιστεί η μείωση της BMD κατά 0.3% ανά έτος. Στις γυναίκες κατά την εμμηνόπαυση και για 10 με 15 χρόνια αργότερα, η μείωση αυτή είναι σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό, που υπολογίζεται 1 με 1,5% ανά έτος (Keen & Reddivari, 2023; Πουρνάρας, 2009). Μετά τα 70 ο ρυθμός μείωσης της οστικής μάζας είναι ίδιος ανάμεσα στα δύο φύλα.

Η οστεοπόρωση αποτελεί την κατεξοχήν μεταβολική νόσο των οστών, με μεγάλη επίπτωση στον παγκόσμιο πληθυσμό. Θεωρείται μια σιωπηλή νόσος, καθώς δεν παρουσιάζονται συμπτώματα. Έτσι είναι σύνηθες, η διάγνωση να γίνεται με την επιπλοκή της νόσου, τα κατάγματα χαμηλής βίας με συχνότερο το κάταγμα ισχίου, το κάταγμα του



εγγύς βραχιονίου, του άπω πέρατος της κερκίδας και των σπονδύλων (Rachner, Khosla & Hofbauer, 2011).

Η οστεοπόρωση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αίτιο μείωσης της οστικής μάζας, την πρωτοπαθή και την δευτεροπαθή οστεοπόρωση. Η πρωτοπαθής οστεοπόρωση διακρίνεται σε τρεις κλινικούς τύπους. Η μετεμμηνοπαυσιακή οστεοπόρωση (τύπου I) προκαλείται από την μειωμένη λειτουργία των ορμονών των γονάδων. Η τύπου II (γεροντική) οστεοπόρωση είναι η φυσιολογική μείωση της οστικής πυκνότητας που επέρχεται με την ηλικία. Η τύπου III ιδιοπαθής νεανική οστεοπόρωση, εμφανίζεται σε μικρότερες ηλικίες. Η δευτεροπαθής οστεοπόρωση οφείλεται σε συγκεκριμένα αίτια που έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της οστικής πυκνότητας. Τέτοια αίτια αποτελούν ο αλκοολισμός, η λήψη κορτικοστεροειδών φαρμάκων, η νόσος Cushing, ο υπερπαραθυρεοειδισμός, παθήσεις του γαστρεντερικού συστήματος, ο σακχαρώδης διαβήτης και άλλα. Έχει περιγραφεί και η τοπική οστεοπόρωση, στην οποία περιλαμβάνονται περιπτώσεις ασθενών μετά από μακροχρόνια ακινητοποίηση μακρών οστών και η αλγοδυστροφία (Πουρνάρας, 2009)

Οι παράγοντες κινδύνου που προδιαθέτουν την οστεοπόρωση είναι η χαμηλή κορυφαία οστική πυκνότητα, η πρόωρη εμμηνόπαυση, οι διαιτητικές συνήθειες του ατόμου, η καθιστική ζωή και ο σωματότυπος (Kelsey, 1987).

Αναλυτικότερα:

α) Κορυφαία οστική πυκνότητα (Peak Bone Mass – PBM) ορίζεται ως η μέγιστη πυκνότητα του οστού που επιτυγχάνεται κατά το τέλος της σκελετικής ωρίμανσης του ανθρώπου (Chevalley & Rizzoli, 2022). Στους άνδρες επιτυγχάνεται κατά το 30<sup>ο</sup> έτος, ενώ στις γυναίκες στο 25<sup>ο</sup>. Η απόκτηση της οστικής πυκνότητας γίνεται με τον ίδιο τρόπο ανάμεσα στα δύο φύλα κατά την παιδική ηλικία, ως την έναρξη της εφηβείας και την διαφοροποίηση των δύο φύλλων (εμμηναρχή). Στην μετέπειτα αναπτυξιακή περίοδο, για το ανδρικό φύλο, η ανάπτυξη λόγω ορμονών διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και σχηματίζονται οστά με παχύτερο φλοιό.

Η PBM επηρεάζεται από κληρονομικούς και γενετικούς παράγοντες. Οι Rizzoli et al. (2001) συμπέραναν ότι η διαμόρφωση της BMD καθορίζεται από ένα μεγάλο αριθμό



γονιδίων, πολυμορφισμοί του οποίου κληρονομούνται από γενιά σε γενιά (Rizzoli, Bonjour & Ferrari, 2001). Επιπλέον, οι Chevalley και Rizzoli το 2022, αναφέρουν ότι η κληρονομικότητα της BMD κυμαίνεται από 50-85% (Chevalley et al., 2022). Αν και αναφέρθηκε ότι διαφορές δεν παρατηρούνται στα δύο φύλα στην προεφηβική περίοδο, διαφορές στην οστική πυκνότητα παιδιών παρατηρούνται σε διαφορετικές φυλές, με την αφρικανική φυλή να παρουσιάζει υψηλότερα επίπεδα BMD (Rizzoli et al., 2001).

Οι ατομικές συνήθειες κατά την ανάπτυξη επηρεάζουν την αύξηση του BMD. Η κακή διατροφή, χαμηλή σε ασβέστιο και πρωτεΐνες, η αποχή από την φυσική δραστηριότητα και μειωμένη πρόσληψη βιταμίνης D, δρουν ανασταλτικά στην απόκτηση υψηλής PBM. Η βιταμίνη D είναι απαραίτητη για την απορρόφηση ασβεστίου από τον οργανισμό και συνεπώς την ανάπτυξη. Επιπροσθέτως, χαμηλή σε πρωτεΐνη διατροφή οδηγεί σε σαρκοπενία και μειωμένα ερεθίσματα στον σκελετό από το μυϊκό σύστημα για ανάπτυξη (Sale & Elliott-Sale, 2019).

β) Η πρόωρη εμμηνόπαυση σε ηλικία μικρότερη των 40 ετών αποτελεί υψηλό παράγοντα κινδύνου για τις γυναίκες. Η μείωση των οιστρογόνων και του ορμονολογικού προφίλ οδηγεί σε αυξημένη λειτουργία των οστεοκλαστών.

γ) Οι ατομικές διαιτητικές συνήθειες επηρεάζουν την κορυφαία οστική πυκνότητα.

δ) Τα σωματικά χαρακτηριστικά του ατόμου, όπου η τυπική εικόνα οστεοπορωτικής γυναίκας είναι λιποβαρής, με ανοιχτό χρώμα δέρματος. Αντίθετα, παχύσαρκα άτομα εμφανίζουν μικρότερα ποσοστά οστεοπόρωσης, λόγω του μηχανικού φορτίου που ασκείται στο σώμα αλλά και λόγω των αυξημένων οιστρογόνων από τον λιπώδη ιστό (Kanis et al., 2019; Kelsey, 1987)

### **Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της οστεοπόρωσης**

Με υψηλά ποσοστά στις Δυτικές και ανεπτυγμένες κοινωνίες, η οστεοπόρωση πλήττει τον παγκόσμιο πληθυσμό με ρυθμούς που έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες (Curtis, Moon, Harvey & Cooper, 2017). Σε στατιστικές μελέτες του 2022



υπολογίστηκε ότι ετησίως, η οστεοπόρωση οδηγεί σε 8,9 εκατομμύρια κατάγματα, 1 κάταγμα ανά 3 δευτερόλεπτα (Villiers & Goldstein, 2022). Παγκοσμίως 200 εκατομμύρια γυναίκες άνω των 60 πάσχουν από τη μεταβολική αυτή νόσο, ενώ τα ποσοστά των ανδρών είναι πολύ μικρότερα (Martinis, Sirufo, Ponsineli, Placidi, Silvestre & Ginaldi, 2021). Η συχνότητα εμφάνισης των καταγμάτων είναι μεγαλύτερη στο γυναικείο φύλο και συγκεκριμένα 1,6 φορές συχνότερα από τους άνδρες. Προκύπτει επομένως ότι το 80% των καταγμάτων της πηχεοκαρπικής, το 75% των καταγμάτων βραχιονίου, το 70% καταγμάτων ισχίου και το 58% καταγμάτων σπονδύλων αφορούν τον γυναικείο πληθυσμό (Johnell & Kanis, 2006).

Ο επιπολασμός των καταγμάτων ευθραυστότητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θνησιμότητας των ασθενών είτε έχουν συννοσηρότητα είτε όχι. Το 2006, οι Goodpaster et al. υπολόγισαν ότι μέσα σε ένα χρόνο από ένα κάταγμα ισχίου, οι ασθενείς εμφάνισαν θνησιμότητα έως 24%. Πέρα από την θνησιμότητα, τα κατάγματα συμβάλουν στην προϋπάρχουσα νοσηρότητα όπως καρδιαγγειακή νόσο, διαταραχές διάθεσης, οδηγούν σε παθολογικές καταστάσεις όπως θρομβοεμβολική νόσο λόγω επιπλοκών και αθροιστικά μειώνουν την αυτονομία του ασθενή. Μελέτες στηρίζουν ότι 10-20% ασθενών που ήταν κοινωνικά ενεργοί, ιδρυματοποιήθηκαν μετά από οστεοπορωτικό κάταγμα ισχίου, ενώ το 40 με 60% είχε απώλεια της λειτουργικότητας και έχρηζε βοήθειας μέσα σε ένα χρόνο από το συμβάν (Bone et al., 2017; Anker, Morley & Von Haehling, 2016).

Πέρα από τις κοινωνικές επιπτώσεις, το οικονομικό βάρος, για την αντιμετώπιση και νοσηλεία ασθενών με κατάγματα ευθραυστότητας είναι σημαντικό. Το κόστος αυτό σε 5 χώρες της Ευρώπης το 2012 ήταν 29 δισεκατομμύρια (Herlund et al., 2013). Το Ελληνικό Ίδρυμα Οστεοπόρωσης (ΕΛ.Ι.ΟΣ.) σε μελέτες του υπολόγισε ότι το κόστος αυτό θα αυξηθεί έως το 2050 και θα φτάσει τα 76,7 δισεκατομμύρια ετήσιου υγειονομικού κόστους με βάση τις δημογραφικές μεταβολές που αναμένονται (Athanasakis et al., 2011).

### **Τεχνικές Μέτρησης Οστικής πυκνότητας**

Η οστεοπόρωση στις απλές ακτινογραφίες είναι ορατή μόνο όταν είναι προχωρημένη. Αλλοιώσεις στα οστά εντοπίζονται μόνο όταν έχουν χάσει το 30% τις



πυκνότητας τους. Οι οστικές δοκίδες είναι αραιές και ο φλοιός των οστών λεπταίνει (Πουρνάρας, 2009).

Σήμερα η διάγνωση της οστοπόρωσης περιλαμβάνει την μέτρηση της οστικής πυκνότητας με την DXA(dual-energy x-ray absorptiometry), την μέθοδο διπλής ενεργειακής απορροφησιομετρίας, που αποτελεί μέθοδο εκλογής. Με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιήθηκαν και άλλες μέθοδοι όπως η ποσοτική υπερηχογραφία και οι μετρήσεις με CT/MRI. Η DXA όμως επικράτησε καθώς παρέχει αξιόπιστα, γρήγορα και ασφαλή αποτελέσματα για κάθε ηλικιακή ομάδα. (Krugh & Langaker, 2023; Shalof et al., 2021; Shevroza, Cafarelli, Guglielmi & Hans, 2021).

Η φιλοσοφία της μεθόδου αυτής ξεκίνησε και εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1963 με την εμφάνιση μηχανημάτων μονής φωτονιακής απορροφησιομετρίας (single photon absorptiometry – SPA). Αν και βοήθησε στην συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων, όσον αφορά την οστική πυκνότητα και την οστεοπόρωση, μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον περιφερικό σκελετό και όχι για τον αξονικό όπου οι οστικές δομές αλληλοεπικαλύπτονται.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, τα μηχανήματα εξελίχθηκαν και πλέον εφαρμόζεται η διπλής ενέργειας απορροφησιομετρία (DXA), με την οποία μπορούν να γίνουν μετρήσεις στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης με διακριτό διαχωρισμό των μαλακών μορίων και των οστικών δομών.

Η DXA χρησιμοποιεί ακτίνες Χ σε ευρεία έκταση, οι οποίες σε συνδυασμό με ένα σύνολο δεκτών, πυκνομετρούν την υπό εξέταση περιοχή σε ένα λεπτό αλλά και ολόκληρο το σώμα σε αντίστοιχο χρόνο. Τα περισσότερα διαδεδομένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι τα μηχανήματα DXA με τραπέζι. Αυτά παρέχουν την δυνατότητα για μετρήσεις του αξονικού σκελετού και των μακρών. Πλέον έχουν και άλλες δυνατότητες για μετρήσεις σε παιδιά και νεογνά, πλάγιες μετρήσεις τις σπονδυλικής στήλης με ένα βραχίονα τύπου “C” χωρίς να χρειάζεται αλλαγή θέσης του ασθενούς (από ύπτια σε πλάγια θέση) και να διαγνωστούν κατάγματα αλλά και ανάλυση της σωματικής σύστασης (άλυπη σωματική μάζα/ λιπώδης ιστός). Η μέτρηση της μυϊκής μάζας αποτελεί σημαντική δυνατότητα της DXA για την διάγνωση της σαρκοπενίας, καθώς όπως έχει αναφερθεί πλέον ορθότερος είναι ο όρος οστεοσαρκοπενία. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχουν επίσημες κατευθυντήριες οδηγίες και δείκτες αξιολόγησης για την σαρκοπενία (Schweighofer et al.,



2022; Gonera-Furman, Bolanowski & Jedrzejuk, 2022; Messina et al., 2020). Ένα άλλο είδος μηχανημάτων είναι τα περιφερειακά συστήματα DXA τα οποία αν και φορητά, δεν έχουν ευρεία εφαρμογή. Μπορούν να μετρήσουν οστικές δομές του περιφερικού σκελετού (κάτω πέρασ κερκίδας και πτέρνα) και χρησιμοποιούνται κυρίως για αρχική εκτίμηση κινδύνου οστεοπόρωσης όχι όμως για έλεγχο αποτελεσματικότητας θεραπείας (Maghraoui & Roux, 2008).

Στην οστεοπόρωση, οι περιοχές ενδιαφέροντος για μέτρηση με DXA είναι οστικές δομές πλούσιες σε δοκιδώδες οστό. Έτσι μετρήσεις γίνονται στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης, στο κεντρικό μηριαίο, αυχένα μηριαίου και περιτροχαντήριο περιοχή (περιοχή του Ward) και στο περιφερικό άκρο της κερκίδας. Χρυσός κανόνας για την διάγνωση της οστεοπόρωσης είναι η μέτρηση στην οσφυϊκή και στο εγγύς μηριαίο. Το περιφερικό άκρο της κερκίδας αξιολογείται όταν υπάρχει κάποια παθολογία στις προαναφερθείσες οστικές δομές ή σε ασθενείς με πολύ υψηλό BMI.

Η τεχνική αυτή μέτρησης της οστικής πυκνότητας είναι αρκετά ασφαλής. Η ακτινοβολία που χρησιμοποιείται είναι σε χαμηλή δόση, γεγονός που την καθιστά μέθοδο που μπορεί να επαναληφθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα εφόσον κριθεί απαραίτητο (π.χ. για έλεγχο της αποτελεσματικότητας της θεραπείας). Συγκεκριμένα η δόση της ακτινοβολίας υπολογίζεται στα 6μSv αλλά σε κάποιους μετρητές φτάνει έως και 62μSv. Η δόση αυτή αποτελεί το ένα δέκατο μίας απλής ακτινογραφίας θώρακος, ισοδύναμη με την ραδιενέργεια που λαμβάνει ένας άνθρωπος σε ένα εικοσοτετράωρο στο ύψος της θάλασσας.

Για τη λήψη σωστών αποτελεσμάτων η τοποθέτηση του εξεταζόμενου στον σαρωτή πρέπει να είναι η κατάλληλη ώστε να απεικονιστούν ολοκληρωμένα οι περιοχές και να μην υπάρχουν τεχνουργήματα (artifacts). Η μέτρηση της οσφυϊκής μοίρας γίνεται σε ύπτια θέση με τους μηρούς σε κάμψη και της κνήμες να ακουμπούν σε μαλακό κύβο. Στην θέση αυτή αντιστρέφεται η πρόσθια κλίση της λεκάνης και εξαλείφεται η οσφυϊκή λόρδωση. Στη μέτρηση του ισχίου, σε ύπτια θέση ο ασθενής κρατά, με την βοήθεια ειδικού τριγωνικού εξαρτήματος, τα ισχία σε ήπια απαγωγή και το απεικονιζόμενο σκέλος σε έσω στροφή. Αυτό προσφέρει την καλύτερη δυνατή απεικόνιση της περιτροχαντήριας περιοχής. Η μέτρηση του ισχίου γίνεται στο μη επικρατές κάτω άκρο (στο αντίθετο από το



επικρατές άνω άκρο). Επιπροσθέτως ο τεχνικός πρέπει να λάβει υπόψη πιθανά οστεόφυτα, κατάγματα, μεταλλικά αντικείμενα στο πεδίο ακτινοβολίας, ιστορικό πεταλεκτομής και λυτικών μεταστάσεων και άλλους παράγοντες που μπορεί να δώσουν ψευδώς αυξημένη ή μειωμένη οστική πυκνότητα (Maghraoui & Roux, 2008; Richmond, 2023).

Το αποτέλεσμα της DXA είναι της BMD (bone mass density), το οποίο συγκρίνεται με τη βάση δεδομένων του μηχανήματος (μετρήσεις σε σχέση με το φύλο, την ηλικία και την εθνικότητα) και κρίνεται ως φυσιολογικό ή παθολογικό. Οι περισσότερες βάσεις δεδομένων αφορούν μετρήσεις σε λευκούς, καυκάσιους (7000-10000 Αμερικανούς πολίτες), υπάρχουν ελάχιστες κατάλληλες αναφορές για τον παιδικό πληθυσμό και άλλες εθνικότητες. Η μέτρηση της BMD αποτελεί ειδικό δείκτη ακριβείας για την πρόβλεψη οστεοπορωτικών καταγμάτων όπως περιγράφουν οι Shevroja et al. (2021).

Η ανάλυση της BMD μπορεί να περιγραφεί σε σχέση με την απόκλισή της από την κορυφαία οστική πυκνότητα ατόμων ίδιου φύλου, το T-Score, ή σε σχέση με την απόκλιση από το BMD ατόμων της ίδιας ηλικιακής ομάδας, το Z-Score.

- a) Το T-Score είναι το πηλίκο της διαφοράς της μετρημένης BMD και του μέσου όρου της BMD νέων ενηλίκων, προς την τυπική απόκλιση των νέων ενηλίκων.
- b) Το Z-Score είναι το πηλίκο της διαφοράς της μετρημένης BMD και του μέσου όρου ατόμων ίδιας ηλικίας, προς την τυπική απόκλιση των ατόμων ίδιας ηλικίας (Blake & Fogelman, 2007)

Το T-score χρησιμοποιείται ευρέως από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας για την διάγνωση της οστεοπόρωσης. Τιμές μεγαλύτερες του -1 θεωρούνται φυσιολογικές, τιμές από -1.1 έως -2.5 ως χαμηλές (οστεοπενία) και μικρότερες του -2.5 ως οστεοπόρωση. Το T-Score χρησιμοποιείται σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες και σε άνδρες άνω των 65 αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρότερες ηλικιακές ομάδες. Σε νεότερους λοιπόν ασθενείς, το BMD αξιολογείται με το Z-Score. Για τη μεταβολή της οστικής πυκνότητας με την πάροδο του χρόνου, πρέπει να αξιολογηθούν οι απόλυτες τιμές της BMD (g/cm<sup>2</sup>) και οι μετρήσεις να απέχουν 18-24 μήνες για να δούμε στατιστικά σημαντικές αλλαγές (Richmond, 2023). Ένδειξη για μέτρηση οστικής πυκνότητας με DXA είναι: α) γυναίκες άνω



των 65 και άντρες άνω των 70, β) νεότεροι ασθενείς με παράγοντες κινδύνου όπως κάταγμα χαμηλής βίας (σπονδύλου, κεντρικού βραχιονίου, άπω πέρατως κερκίδας, ισχίου), έλλειψη οιστρογόνων, χαμηλό BMI, οικογενειακό ιστορικό οστεοπόρωσης, ενεργός καπνιστής, απώλεια ύψους, κύφωση θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, μακροχρόνια λήψη κορτικοστεροειδών φαρμάκων (Krugh & Langaker, 2022; Richmond, 2003). Επίσης, η μέτρηση σε νεογνά και παιδιά έχει ένδειξη σε συστηματικές νόσους και μακροχρόνια κατάκλιση ή χρήση κορτικοστεροειδών. Τα αποτελέσματα ωστόσο χρήζουν ειδικής ανάλυσης (Binkovitz & Henwood, 2006).

### **Άσκηση και μυοσκελετική υγεία**

Η εφαρμογή προγραμμάτων συστηματικής άσκησης έχει συστηθεί ως μια χαμηλού κόστους και ασφαλής μη φαρμακολογική στρατηγική παρέμβασης για τη διατήρηση της μυοσκελετικής υγείας (Hong Kim, 2018; Beck et al., 2017). Η διεθνής βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η άσκηση είναι “φάρμακο” για χρόνιες παθήσεις μειώνοντας τους παράγοντες εμφάνισης κινδύνου (Ambrose & Golightly, 2015; Bullard, Ji, An, Trinh, Mackenzie & Mullen, 2019; Hayden et al., 2021; Neuffer et al., 2015). Η άσκηση ωστόσο πρέπει να είναι καλώς σχεδιασμένη, δομημένη και επαναλαμβανόμενη με στόχο τη βελτίωση της φυσικής και λειτουργικής ικανότητας του ατόμου (Caspersen, Powell & Christenson, 1985).

Οι διαφορετικές όμως μορφές άσκησης (αερόβια, με αντιστάσεις, συνδυαστικά, εναλλακτικές μορφές) φαίνεται ότι επιδρούν στις χρόνιες παθήσεις σε διαφορετικό βαθμό (Raven, Wasserman, Squires & Murray, 2013). Αν και οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί μέσω των οποίων η άσκηση βελτιώνει την υγεία των οστών δεν έχουν ακόμη διευκρινιστεί πλήρως, είναι ευρέως αποδεκτό ότι η μηχανική φόρτιση που προκαλείται από την προπόνηση μυϊκής ενδυνάμωσης αυξάνει τη μυϊκή μάζα, παράγει μηχανική καταπόνηση στο σκελετό και ενισχύει τη δραστηριότητα των οστεοβλαστών (Fleg, 2012; Palombaro et al., 2013). Ωστόσο, δεν είναι όλοι οι τρόποι άσκησης εξίσου οστεογενετικοί.

Για να προκαλέσει ένα πρόγραμμα άσκησης οστεογενετικό αποτέλεσμα, το μηχανικό φορτίο που ασκείται στα οστά θα πρέπει να υπερβαίνει αυτό που συναντάται



κατά τη διάρκεια των καθημερινών δραστηριοτήτων (Frost, 1988). Οι ασκήσεις κρούσης με το βάρος του σώματος, όπως είναι οι αναπηδήσεις και τα άλματα, και/ή η προοδευτική άσκηση με αντιστάσεις (RE), μόνη της ή σε συνδυασμό, μπορεί να βελτιώσει την υγεία των οστών στους ενήλικες (Beck et al., 2017). Ανάμεσά τους, η άσκηση με αντιστάσεις έχει αναδειχθεί ως η πιο υποσχόμενη παρέμβαση για τη διατήρηση ή την αύξηση της οστικής μάζας και πυκνότητας (Zehnpacker & Bemis-Dougherty, 2017). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της άσκησης με αντιστάσεις εφαρμόζονται στο οστό ποικίλα μυϊκά φορτία, τα οποία δημιουργούν ερεθίσματα και προάγουν την οστεογενετική απόκριση του οστού (Turner & Robling, 2005). Ωστόσο, η αντοχή των οστών καθορίζεται όχι μόνο από την BMD, αλλά και από παράγοντες ποιότητας των οστών, συμπεριλαμβανομένης της μικροαρχιτεκτονικής, της γεωμετρίας και του κύκλου εργασιών των οστών. Αν και η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DXA) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο κλινικό εργαλείο για την αξιολόγηση της οστικής πυκνότητας, δεν καταγράφει την ποιότητα των οστών.

### **Άσκηση με αντιστάσεις και οι επιδράσεις στο οστό**

Η άσκηση με αντιστάσεις αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη μορφή προπόνησης κατά την οποία οι μύες συσπώνται υπό εξωτερική αντίσταση, με αποτέλεσμα την αύξηση της μυϊκής μάζας, δύναμης και αντοχής. Η εξωτερική αντίσταση προέρχεται από ελεύθερα βάρη, μηχανήματα με αντιστάσεις, λάστιχα και από καλλισθενικές ασκήσεις, οι οποίες εκτελούνται με το βάρος σώματος.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η άσκηση με αντιστάσεις επιδρά και στον οστίτη ιστό, εκτός από τον μυϊκό, καθώς τα φορτία περνούν μέσα από τον σκελετό και οι συσπάσεις των μυών γίνονται με μοχλούς τα μακρά οστά, καθιστώντας την ιδανική μορφή άσκησης για ασθενείς με οστεοπόρωση (Hong & Kim, 2018)

Ο σκελετός αντιδρά διαφορετικά στα εξωτερικά φορτία ανάλογα με τον τύπο του οστού. Η προσαρμογή στα φορτία του αξονικού σκελετού διαφέρει σε σχέση με τα μακρά οστά λόγω μεγαλύτερης περιεκτικότητας του σε σπογγώδες οστό. Το σπογγώδες οστό έχει μικρότερη πυκνότητα (ο λόγος όγκος/μάζα είναι μεγαλύτερος του αντίστοιχου του



φλοιώδους οστού) κάτι που το καθιστά μαλακό, εύκαμπτο, αδύναμο αλλά ταυτόχρονα και ικανότερο να προσαρμοστεί στα φορτία.

Η ελάχιστη αναγκαία καταπόνηση (Minimal Essential Strain/MES) αποτελεί την ελάχιστη εξωτερική δύναμη που πρέπει να εφαρμοστεί στο οστό ώστε να κατασκευαστεί καινούργιο. Η εξωτερική αυτή δύναμη υπολογίζεται ότι αποτελεί το 1/10 της αντίστοιχης δύναμης που θα προκαλούσε κάταγμα στο ίδιο οστό. Με την εφαρμογή της εξωτερικής δύναμης, οι οστεοβλάστες μεταναστεύουν στην περιοχή της καταπόνησης και ξεκινά η διαδικασία της ανακατασκευής με ρυθμό τέτοιο ώστε να μην γίνει η δύναμη αυτή μεγαλύτερη από την αντοχή του οστού και προκληθεί κάταγμα.

Με την οστική ανακατασκευή η διάμετρος των οστών αυξάνεται με αποτέλεσμα να μοιράζονται ομοιόμορφα τα φορτία σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Με αυτό τον τρόπο η αρχική δύναμη είναι μικρότερη από την καινούργια MES και έτσι χρειάζεται να εφαρμοστεί μεγαλύτερη εξωτερική αντίσταση για να προκαλέσει εκ νέου οστική ανακατασκευή.

Η βασική επίδραση της άσκησης με αντιστάσεις είναι η αύξηση της μυϊκής μάζας και δύναμης. Οι μύες κατά τη λειτουργία τους συσπώνται, ασκώντας καμπτικές δυνάμεις στα οστά/μοχλούς. Οι δυνάμεις αυτές, πέρα από τις εξωτερικές αντιστάσεις αυξάνουν περαιτέρω το στρες στα οστά, οδηγώντας τα σε ανακατασκευή και αύξηση του BMD (Haff & Triplett, 2016)

Οι διαδικασίες ανακατασκευής και προσαρμογής των οστών είναι μακροχρόνιες και για την ολοκλήρωσή τους χρειάζονται περισσότεροι από έξι μήνες. Η διαδικασία της ανακατασκευής ξεκινά άμεσα, μόνο μετά από τις πρώτες προπονήσεις με αντιστάσεις όπως φαίνεται με μέτρηση οστεογενετικών δεικτών οι οποίοι εμφανίζονται στο αίμα των αθλούμενων, όσο εφαρμόζονται εξωτερικές αντιστάσεις (Pocock et al., 1989; Wittich, Mautalen, Oliveri, Bagur, Somoza & Rotemberg, 1997).

Οι επιδράσεις αυτές της άσκησης με αντιστάσεις, για να εμφανιστούν, θα πρέπει στο πρόγραμμα της άσκησης να επιλέγονται σωστές ασκήσεις με κατάλληλο φορτίο και η προπόνηση να βασίζεται στην αρχή της προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης και στον έλεγχο της ταχύτητας εκτέλεσης. Οι Taaffe et al. (1997) μάλιστα έδειξαν πως όταν το



ερέθισμα/πρωτόκολλο άσκησης είναι το κατάλληλο, υπάρχει η ίδια αύξηση της BMD ανεξαρτήτου του φύλου και της ηλικίας του ασκούμενου.

Όσον αφορά το ασκησιολόγιο που πρέπει να επιλέγεται για την πρόκληση του οστεογενετικού ερεθίσματος διαφέρει εάν ο στόχος είναι η αύξηση της οστικής πυκνότητας του άνω σώματος ή του κάτω. Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει να προτιμώνται πολυαρθρικές ασκήσεις από τις ασκήσεις απομόνωσης, καθώς επιτρέπουν άρση μεγαλύτερου φορτίου και οι δυνάμεις ασκούνται ομοιόμορφα σε περισσότερα οστά και μέσω της σπονδυλικής στήλης. Οι κυριότερες ασκήσεις που επιλέγονται είναι τα καθίσματα με μπάρα, οι άρσεις θανάτου (Carrozzo, Felici, Figura & Gazzani, 1986; Granhed, Johnson & Hansson, 1987), το αρασέ, το power clean και οι όρθιες πιέσεις ώμων (Benedetti, Furlini, Zati & Mauro, 2018). Επιπλέον μελέτες έδειξαν μια υπεροχή της χρήσης ελεύθερων βαρών από μηχανήματα με αντιστάσεις.

Εκτός του κατάλληλου ασκησιολογίου, το φορτίο που επιλέγεται σε κάθε άσκηση ορίζεται με βάση τα πρωτόκολλα μυϊκής υπερτροφίας και δύναμης και την αρχή σταδιακά αυξανόμενης επιβάρυνσης. Καθώς ασκείται μια εξωτερική δύναμη στον μυ και το οστό, αυτά σταδιακά προσαρμόζονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η μυϊκότητα και οστική πυκνότητα. Έτσι η αρχική δύναμη πλέον δεν είναι αρκετή για να προκαλέσει το επιθυμητό στρες που απαιτείται για την ανακατασκευή. Συμπερασματικά προκύπτει ότι το εξωτερικό φορτίο σταδιακά πρέπει να αυξάνεται για να εφαρμόζεται σταθερά το κατάλληλο ερέθισμα/φορτίο το οποίο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το στρες κατάγματος. Με βάση τα πρωτόκολλα δύναμης/υπερτροφίας, το ιδανικό βάρος υπολογίζεται από 1RM (Conroy, Kraemer, Maresh & Dalsky, 1992; Kanehisa & Fukunaga, 1998).

Οι Seok-Ki Min και συν. (2019) στην ανασκόπησή τους πρότειναν κατευθυντήριες οδηγίες για τα προγράμματα άσκησης με αντιστάσεις που στόχο έχουν την αύξηση της οστικής πυκνότητας. Οι οδηγίες προέκυψαν από επτά επιμέρους μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά δείγματα (και στα δύο φύλα με διαφορετικά πρωτόκολλα προπονήσεων). Από τα αποτελέσματά τους προέκυψε ότι ένα τέτοιο πρόγραμμα θα πρέπει να εφαρμόζεται τρεις φορές την εβδομάδα, με εκτέλεση ένα με δύο σετ ανά μυϊκή ομάδα των δέκα με δώδεκα επαναλήψεων. Οι ασκήσεις θα πρέπει να



περιλαμβάνουν ελεύθερα βάρη και χρήση μηχανημάτων με αντιστάσεις για όλες τις μεγάλες μυϊκές ομάδες.

Τα μεγαλύτερα σκελετικά οφέλη από τις ασκήσεις με αντιστάσεις επιτεύχθηκαν όταν η αντίσταση αυξανόταν προοδευτικά με την πάροδο του χρόνου, το μέγεθος της μηχανικής φόρτισης ήταν υψηλό περίπου 80% έως 85% μίας RM (Kerr, Morton, Dick & Prince, 1996), η άσκηση γινόταν τουλάχιστον δύο φορές την εβδομάδα και στόχευαν μεγάλους μύες που ενεργοποιούσαν το ισχίο και τη σπονδυλική στήλη (Zhao, Zhao, & Xu, 2015). Η σπονδυλική στήλη μπορεί να ανταποκρίνεται περισσότερο στις ασκήσεις με αντιστάσεις από ό,τι το ισχίο (Martyn-St James & Carroll, 2006). Η προπόνηση δύναμης υψηλής έντασης μπορεί να είναι έμμεσα ευεργετική για τα οστά λόγω της ελαφρώς μεγαλύτερης επίδρασης στη μυϊκή δύναμη και τη λειτουργική απόδοση σε σχέση με την κανονική προπόνηση (Steib, Schoene & Pfeifer, 2010). Η προπόνηση ισχύος διατήρησε τη BMD σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες χωρίς να αυξήσει τον κίνδυνο τραυματισμού ή πόνου (von Stengel et al., 2007). Οι πολυσύνθετες παρεμβάσεις που περιλαμβάνουν προπόνηση μυϊκής δύναμης βελτίωσαν τη φυσική κατάσταση των ηλικιωμένων και απέτρεψαν την αναπηρία και άλλες δυσμενείς εκβάσεις (Izquierdo & Cadore, 2014). Ωστόσο, οι τρέχουσες κατευθυντήριες οδηγίες άσκησης για την οστεοπόρωση συνιστούν μόνο ασκήσεις μέτριας έντασης (70% έως 80% ενός RM, οκτώ έως 15 επαναλήψεις) για μεμονωμένες μυϊκές ομάδες, οι οποίες ωστόσο δεν επαρκούν για να δημιουργήσουν μηχανική καταπόνηση ώστε να διεγείρουν μια οστεογενετική απόκριση (Giangregorio et al., 2014).

### **Προγράμματα άσκησης και πρόληψης της οστικής απώλειας**

Τα προγράμματα άσκησης ταξινομούνται σε στατικές ασκήσεις που φέρουν το βάρος του σώματος (π.χ. ορθοστασία με ένα πόδι), σε ασκήσεις που φέρουν βάρος υψηλής επιβάρυνσης (π.χ. τζόκινγκ, τρέξιμο, χορός, άλματα και πλατφόρμα δόνησης), σε ασκήσεις που φέρουν βάρος χαμηλής επίπτωσης (π.χ. περπάτημα και Tai Chi), σε ασκήσεις που δεν φέρουν βάρος υψηλής επίπτωσης (π.χ. προοδευτική άσκηση με αντιστάσεις), σε ασκήσεις που δεν φέρουν βάρος χαμηλής επίπτωσης (π.χ. κολύμπι) και σε συνδυαστικές ασκήσεις (Howe et al., 2017).



Η παρατεταμένη αερόβια προπόνηση (π.χ. κολύμβηση, ποδηλασία και περπάτημα) είναι ευρέως ευεργετική για όλα τα συστήματα του σώματος, αλλά υπάρχουν κλινικές ενδείξεις που υποδηλώνουν ότι καμία από αυτές τις δραστηριότητες δεν παρέχει επαρκές ερέθισμα στα οστά (Martyn-St James & Carroll, 2008; Rector et al., 2008). Δεδομένου ότι η άσκηση με υψηλή πρόσκρουση βάρους δεν είναι πάντα κατάλληλη για άτομα τρίτης ηλικίας λόγω του κινδύνου μυοσκελετικής βλάβης, συστήνεται η άσκηση χωρίς βάρος, όπως η κολύμβηση (Floras, Notarius & Harvey, 2006). Ωστόσο, η αερόβια άσκηση χωρίς βάρος δεν ασκεί καμία ή πολύ χαμηλή επίδραση στα οστά και παρουσιάζει μικρότερες οστεογενετικές αποκρίσεις από την αερόβια άσκηση με πρόσκρουση σε ηλικιωμένους ενήλικες (Guadalupe-Grau et al., 2009).

Το τακτικό περπάτημα, το οποίο συνταγογραφείται συχνά για την πρόληψη της οστεοπόρωσης, έχει επίσης μικρή ή καθόλου επίδραση στην πρόληψη της οστικής απώλειας (Ma et al., 2013). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι η δύναμη φόρτισης χαμηλού αντίκτυπου που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια του βαδίσματος δεν προκαλεί φορτία επαρκούς μεγέθους, ρυθμού ή κατανομής ώστε να διεγείρει τα οστικά κύτταρα και να οδηγήσει σε μια προσαρμοστική σκελετική απόκριση. Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι το τακτικό περπάτημα μπορεί να εκθέσει τους προηγουμένως υποκινητικούς ηλικιωμένους σε αυξημένο κίνδυνο πτώσης, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο κατάγματος (Nikander et al, 2011; Sherrington et al., 2011). Κατά συνέπεια, παρά τα οφέλη του τακτικού βαδίσματος στην αερόβια ικανότητα, τη λιπώδη μάζα και άλλους καρδιομεταβολικούς παράγοντες, το βάδισμα από μόνο του δεν επαρκεί για τη βελτιστοποίηση της μυοσκελετικής υγείας (Martyn-St James & Carroll, 2008).

Άλλα προγράμματα σωματικής άσκησης που περιλαμβάνουν δραστηριότητες μέτριας έως υψηλής επίπτωσης ή συνδυαστικά με βάρη έχουν αποδειχθεί ότι διατηρούν ή βελτιώνουν την ολική BMD του ισχίου και της σπονδυλικής στήλης σε ηλικιωμένους ασθενείς (Allison et al., 2015; Bailey & Brooke-Wavell, 2010; Marques, Mota & Carvalho, 2012). Ωστόσο, αυτοί οι τύποι άσκησης μπορεί να αντενδείκνυνται σε άτομα με σοβαρή οστεοπόρωση ή πρόσφατο ιστορικό κατάγματος, αν και δεν έχουν αξιολογηθεί σε κλινικές δοκιμές η σκοπιμότητα και η αποτελεσματικότητα αυτών των ασκήσεων σε ασθενείς υψηλού κινδύνου.



### **Συμπεράσματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας**

Η συμμετοχή σε προγράμματα συστηματικής άσκησης και ιδιαίτερα σε προπόνηση μυϊκής ενδυνάμωσης είναι σημαντική για τη διατήρηση της μυοσκελετικής υγείας σε μια γηράσκουσα κοινωνία. Η άσκηση με αντιστάσεις ασκεί μηχανικό φορτίο στα οστά οδηγώντας σε αύξηση της οστικής αντοχής. Με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, η προπόνηση με αντιστάσεις, είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με άλλες παρεμβάσεις, μπορεί να είναι η βέλτιστη στρατηγική για τη βελτίωση της μυϊκής και οστικής μάζας σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες, μεσήλικες άνδρες ή ακόμη και σε άτομα τρίτης ηλικίας. Ωστόσο, δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την αντικραδασμική δράση της σε νεαρά άτομα. Επιπλέον, οι ποσοτικές και ποιοτικές προσαρμογές της διατροφικής θεραπείας με την άσκηση δεν έχουν αποσαφηνιστεί σε μεγάλο βαθμό από τους επαγγελματίες υγείας. Επομένως, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για να γίνουν ορθολογικές, τεκμηριωμένες επιλογές και να καταστούν οι παρεμβάσεις άσκησης με αντιστάσεις εφικτές και αποτελεσματικές, ιδίως σε πληθυσμούς με μειωμένη οστική υγεία λόγω σαρκοπενίας και σε άτομα με ιστορικό καταγμάτων ευθραυστότητας.

Για να κατανοήσουμε τις διαφορετικές επιδράσεις της άσκησης με αντιστάσεις στους νεότερους και τους ηλικιωμένους ενήλικες, θα πρέπει επίσης να διευκρινιστεί ο υποκείμενος μηχανισμός της αναβολικής αντίστασης. Επιπλέον, εάν στο μέλλον μπορεί να εντοπιστεί ένας εξελιγμένος μοριακός μηχανισμός που σχετίζεται με την αύξηση της μυϊκής και οστικής μάζας λόγω της άσκησης με αντιστάσεις, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν νέοι θεραπευτικοί στόχοι για την οστεοσαρκοπενία.



### III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### **Δείγμα**

Στη μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 40 ενήλικα νεαρά άτομα, ηλικίας  $27,50 \pm 2,81$  ετών, σωματικής μάζας  $74,02 \pm 15,18$  kg, ύψους  $171,95 \pm 10,54$  cm και δείκτη BMI  $24,80 \pm 3,05$  kg/m<sup>2</sup>. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν ισάριθμα σε ομάδες ανάλογα με το φύλο (άνδρες n=20, γυναίκες n=20) και την ομάδα με το αν αθλούνταν συστηματικά (Ομάδα συστηματικά σθλούμενων: άνδρες, n=9 & γυναίκες, n=10 και Ομάδα μη αθλούμενων: άνδρες, n=11 & γυναίκες, n=10). Οι αθλούμενοι/ες ασκούσαν τουλάχιστον 3 φορές την εβδομάδα τα τελευταία 3 χρόνια και εκτελούσαν τουλάχιστον 2 σετ των 10-12 επαναλήψεων ανά μυϊκή ομάδα, για τουλάχιστον 8 μυϊκές ομάδες. Οι συμμετέχοντες στην Ομάδα Ελέγχου δεν συμμετείχαν σε οποιαδήποτε οργανωμένη μορφή άσκησης.

Από τους συμμετέχοντες το 75% ήταν μη καπνιστές, το 95% δεν κατανάλωνε τακτικά αλκοόλ, ενώ όλοι ακολουθούσαν μια πλήρη διατροφή. Όσον αφορά στο οικογενειακό τους ιστορικό, το 90% δεν ανέφεραν την ύπαρξη οστεοπόρωσης ενώ μόνο ένας ανέφερε ιστορικό κατάγματος ισχίου σε συγγενή πρώτου βαθμού. Από την έρευνα αποκλείστηκαν άτομα που λόγω μυοσκελετικής ή άλλης παθολογίας, δεν μπορούσαν να αθληθούν (μυοσκελετικές παθήσεις, πρόσφατοι σοβαροί τραυματισμοί και ορθοπεδικά χειρουργεία). Άλλα κριτήρια αποκλεισμού ήταν η εγκυμοσύνη, υψηλό BMI > 45kg/m<sup>2</sup>, αυτοάνοσα νοσήματα και μεταβολική νόσος.

Οι δοκιμαζόμενοι υπέγραψαν υπεύθυνη δήλωση για τη συμμετοχή τους στη μελέτη και έχοντας ενημερωθεί για την προστασία των προσωπικών τους στοιχείων, συμπλήρωναν μια φόρμα που περιλάμβανε ερωτήσεις για το ατομικό και οικογενειακό τους ιστορικό, αλλά και για την προπονητική τους κατάσταση.

#### **Πειραματική διαδικασία συλλογής δεδομένων**

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν περιλάμβαναν μέτρηση της οστικής πυκνότητας, με τη μέθοδο απορρόφησης ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DEXA), για την



οσφυϊκή μοίρα, του αυχένα του μηριαίου και το ισχίο (BMD, T-Score, Z-Score). Με τη μέθοδο DEXA μετρήθηκε η BMD, το T-Score και το Z-Score για κάθε σπόνδυλο ξεχωριστά, καθώς και η ολική οστική πυκνότητα για την οσφυϊκή μοίρα, τον αυχένα του μηριαίου και το ισχίο. Πριν τη μέτρηση, οι εξεταζόμενοι ενημερώνονταν για τη μικρή δόση της ακτινοβολίας που θα λάμβαναν και οι γυναίκες ερωτούνταν για την πιθανότητα εγκυμοσύνης. Όλοι οι εξεταζόμενοι μετρήθηκαν στο ίδιο μηχάνημα.

Προτού ξεκινήσει η μέτρηση, καταγράφονταν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του μηχανήματος τα προσωπικά στοιχεία του εξεταζόμενου (ονοματεπώνυμο, ηλικία, ύψος και βάρος) και γινόταν έλεγχος ότι δεν υπήρχαν μεταλλικά αντικείμενα στις υπό εξέταση περιοχές είτε από τον ρουχισμό είτε από κοσμήματα σώματος. Αρχικά πυκνομετρούνταν η οσφυϊκή μοίρα με τον/την δοκιμαζόμενο/η σε ύπτια θέση με τα κάτω άκρα σε κάμψη να στηρίζονται επάνω σε κύβο. Η επικέντρωση εστίαζε για να γίνονται λήψεις από τον πρώτο έως και τον τέταρτο οσφυϊκό σπόνδυλο. Έπειτα ο κύβος αφαιρούνταν, τα κάτω άκρα απάγονταν και το μη επικρατές σκέλος τοποθετούνταν σε έσω στροφή με τη βοήθεια ειδικού εξαρτήματος. Η σωστή τοποθέτηση ήταν λεπτομερής, καθώς η λανθασμένη στάση δίνει ψευδώς αυξημένα ή μειωμένα αποτελέσματα της BMD (Wilson, Fogelman, Blake & Rodin, 1991). Αφού και οι δύο λήψεις είχαν πραγματοποιηθεί, ακολουθούσε η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Οι δύο λήψεις ελέγχονταν ώστε να απεικονίζονται σωστά οι οστικές δομές και ελέγχαμε για τυχόν τεχνικές αδυναμίες. Καθώς οι εξεταζόμενοι ήταν νεαρής ηλικίας, δεν χρειάστηκαν τροποποιήσεις των μετρήσεων για αφαίρεση οστεοφύτων.

Επίσης πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)] στο ίδιο εργαστήριο για να μην υπάρχουν αποκλίσεις των αποτελεσμάτων.

### **Όργανα μέτρησης**

Το μηχάνημα DEXA που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση οστικής πυκνότητας ήταν το σύστημα Horizon της Hologic. Το μηχάνημα διαθέτει κεραμικούς ανιχνευτές ακτίνων και παράγει υψηλής συχνότητας, πάλλουσες ακτίνες Χ. μια από τις σημαντικές



καινοτομίες του είναι η ικανότητα του να παρέχει καθαρές εικόνες χωρίς τη χρήση καδμίου το οποίο είναι επιβλαβές για τον οργανισμό. Επιπλέον η ποιότητα των λήψεων έχει βελτιωθεί και για σωματότυπους με υψηλές τιμές δείκτη BMI, που μέχρι πρόσφατα αποτελούσε πρόβλημα στην μέτρηση οστικής πυκνότητας υπέρβαρων ασθενών.

### **Στατιστική ανάλυση**

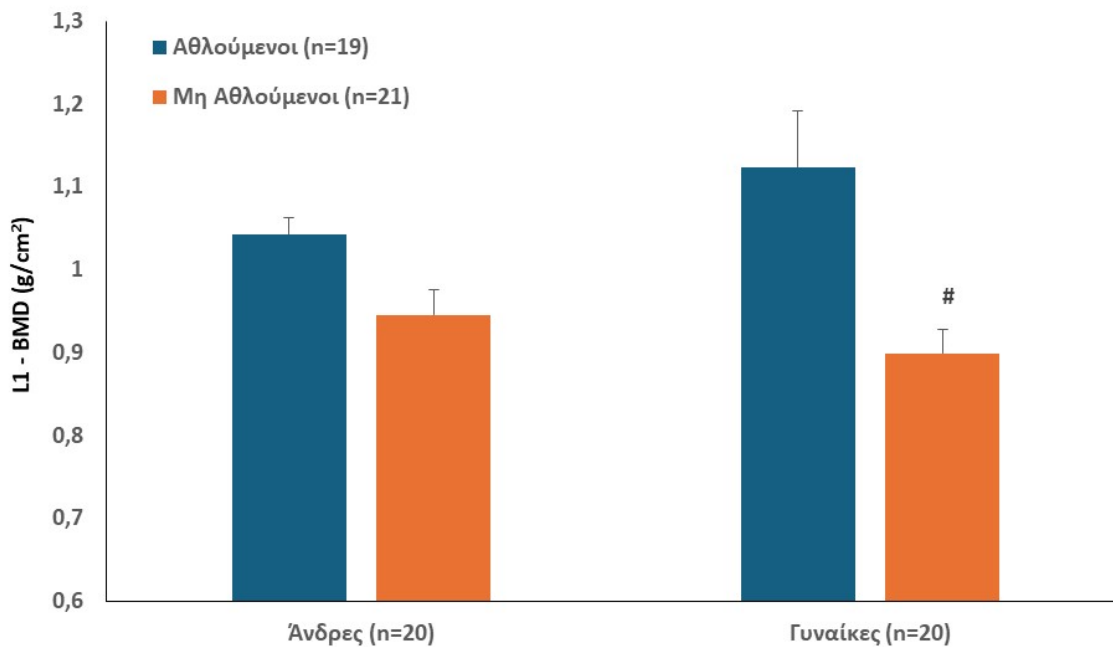
Για την παρουσίαση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε περιγραφική στατιστική (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μεγαλύτερη μικρότερη τιμή), Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα. Οι ανεξάρτητοι παράγοντες ήταν το φύλο (άνδρες, γυναίκες) και η συμμετοχή σε συστηματικό πρόγραμμα άσκησης (αθλούμενοι, μη αθλούμενοι). Οι εξαρτημένες μεταβλητές που μελετήθηκαν ήταν η οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας, του αυχένα του μηριαίου και του ισχίου (BMD, T-Score, Z-Score) για κάθε σπόνδυλο ξεχωριστά καθώς και οι εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις [Ουρία (mg/dl), Κρεατινίνη (mg/dl), Αλβουμίνη (mg/dl), Αλκαλική Φωσφατάση (U/L), Κρεατινική Κινάση (U/L), Κάλιο (mmol/L), Νάτριο (mmol/L), Ασβέστιο (mg/dl), Φώσφορος (mg/dl), Βιταμίνη D (ng/ml), Παραθορμόνη (pg/ml)]. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το  $p < .05$ .



## VI. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι η ομάδα των συστηματικά αθλούμενων παρουσίασε μεγαλύτερη οστική πυκνότητα από την ομάδα των μη αθλούμενων στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης ( $p < .001$ ) και το ισχίο ( $p < .01$ ). Συγκεκριμένα, η επίδραση του παράγοντα “Άσκηση” ήταν στατιστικά σημαντική στην ολική BMD των σπονδύλων ( $p < .001$ ), το T-Score ( $p < .001$ ) και στο Z-Score ( $p < .001$ ) καθώς και του αυχένα του μηριαίου [BMD ( $p < .05$ ), T-Score ( $p < .05$ ), Z-Score ( $p < .05$ )] καθώς και του ισχίου [BMD ( $p < .01$ ), T-Score ( $p < .01$ ), Z-Score ( $p < .01$ )] αντίστοιχα. Ως προς τον παράγοντα “Φύλο” παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση στο T-Score ( $p < .05$ ) και στο Z-Score ( $p < .01$ ) της ολικής BMD των σπονδύλων καθώς και στην ολική BMD του αυχένα του μηριαίου ( $p < .05$ ) και του ισχίου ( $p < .05$ ) ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στον εργαστηριακό έλεγχο.

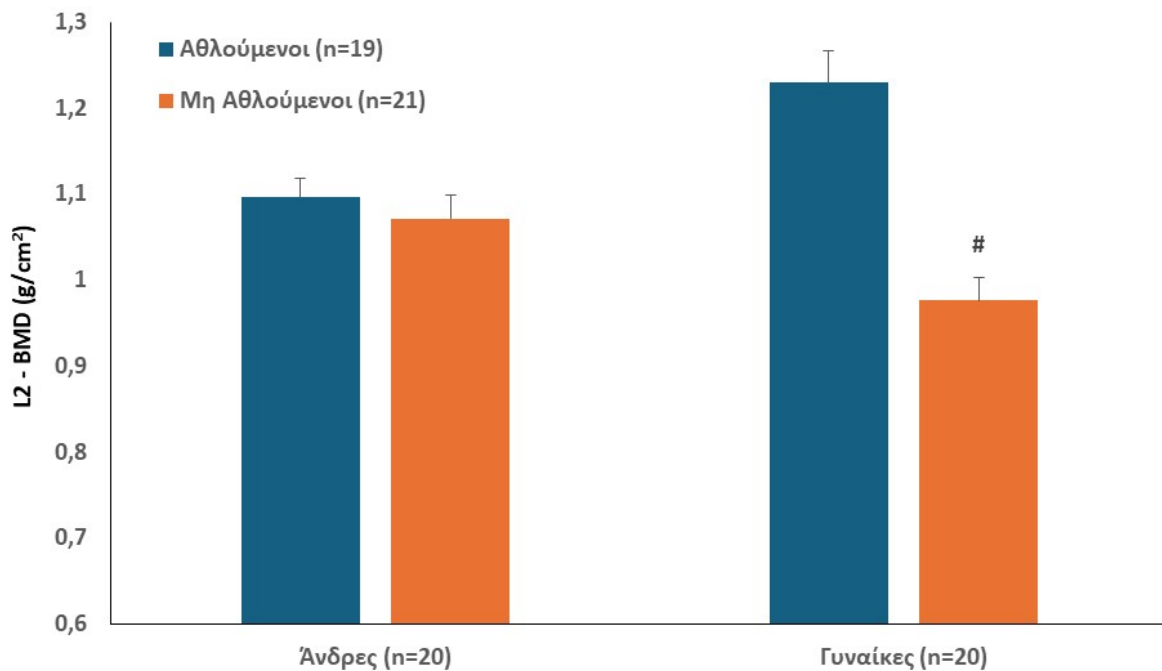
Πιο αναλυτικά, η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα, αναφορικά με την BMD του πρώτου οσφυϊκού σπονδύλου έδειξε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές T-score [ $F_{(1,36)}=13.557$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.274$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=13.557$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.274$ ]. Παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα “Άσκηση” στην BMD του 1<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου [ $F_{(1,36)}=13.460$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.272$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=23.279$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.393$ ] και στο Z-score [ $F_{(1,36)}=13.557$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.274$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες. Ως προς τον παράγοντα “Φύλο”, στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε στις μεταβλητές T-score [ $F_{(1,36)}=6.474$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2=0.152$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=7.487$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2=0.172$ ] με τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 2).



**Σχήμα 2.** Οστική πυκνότητα 1<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

# $p < 0.001$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών.

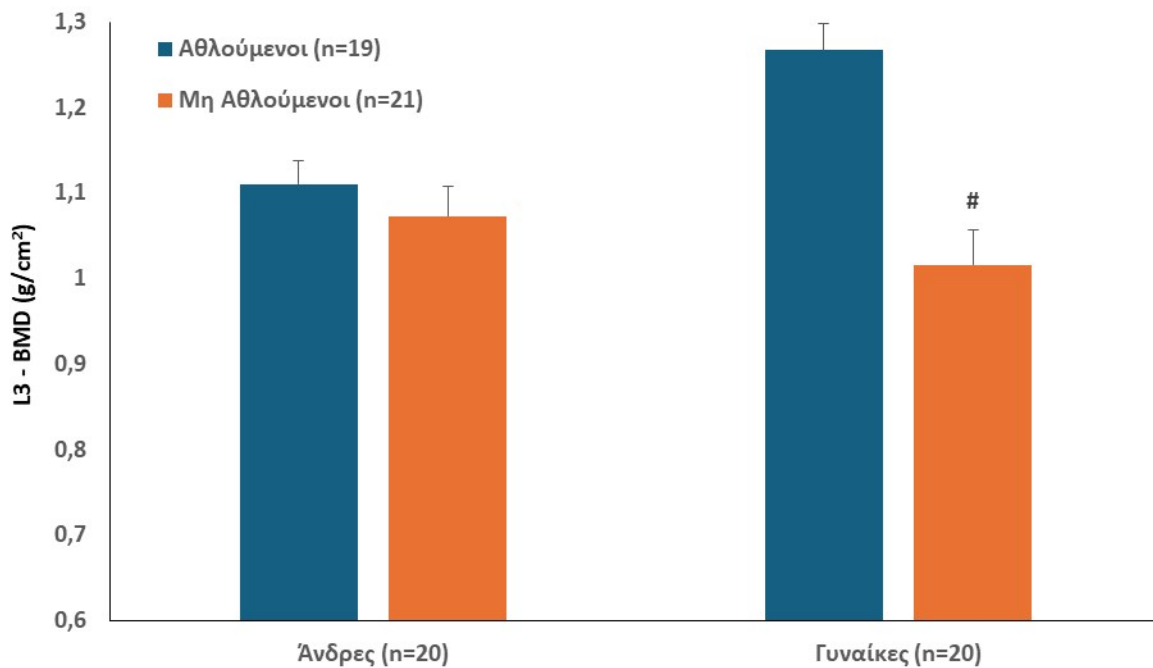
Αναφορικά με την οστική πυκνότητα του δεύτερου οσφυϊκού σπονδύλου, η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα έδειξε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές BMD [ $F_{(1,36)}=19.369$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.350$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=20.472$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.363$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=21.175$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.370$ ]. Παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα "Άσκηση" στην BMD του 2<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου [ $F_{(1,36)}=28.060$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.438$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=27.287$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.431$ ] και στο Z-score [ $F_{(1,36)}=28.081$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.438$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες ( $p < 0.001$ ). Ως προς τον παράγοντα "Φύλο", στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε στις μεταβλητές T-score [ $F_{(1,36)}=9.930$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.216$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=11.266$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.238$ ] με τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 3).



**Σχήμα 3.** Οστική πυκνότητα 2<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

# $p < 0.001$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών.

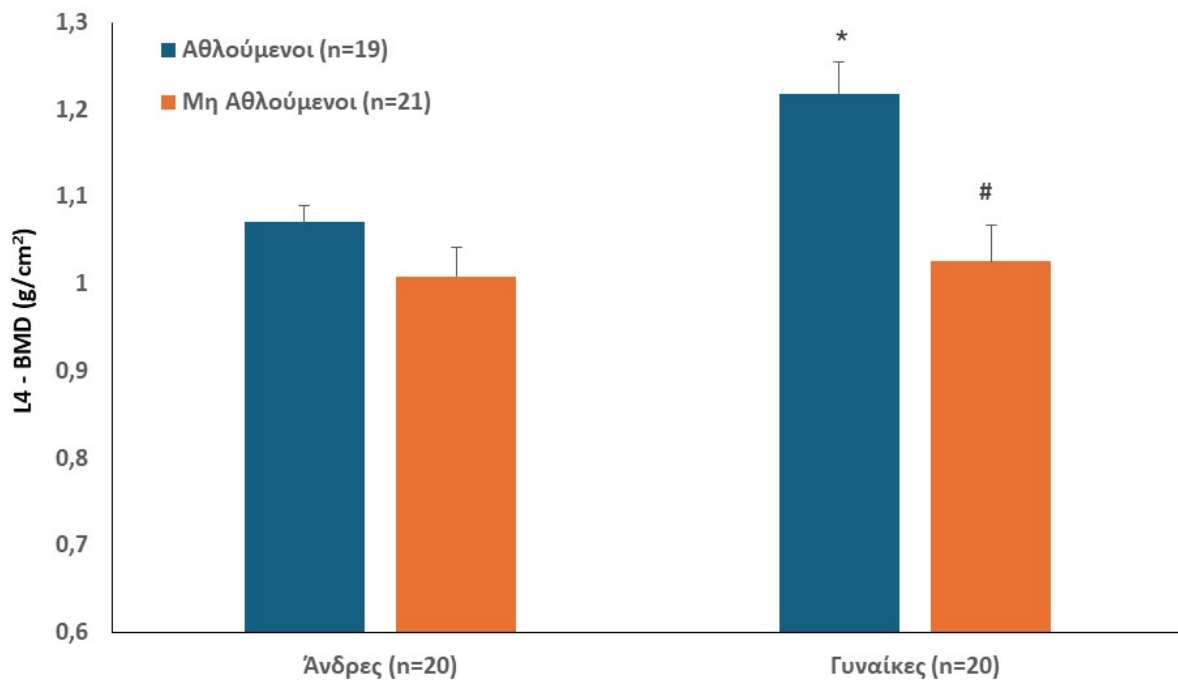
Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα, αναφορικά με την BMD του τρίτου οσφυϊκού σπονδύλου έδειξε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές BMD [ $F_{(1,36)}=9.583$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.210$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=9.749$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.213$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=9.953$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.217$ ]. Παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα “Άσκηση” στην BMD του 3<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου [ $F_{(1,36)}=17.544$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.328$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=16.585$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.320$ ] και στο Z-score [ $F_{(1,36)}=17.268$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.324$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες ( $p < 0.001$ ). Ως προς τον παράγοντα “Φύλο”, στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε μόνο στη μεταβλητή Z-score [ $F_{(1,36)}=4.335$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2=0.107$ ] με τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες ωστόσο να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 4).



**Σχήμα 4.** Οστική πυκνότητα 3<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

*#p<0.001: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών.*

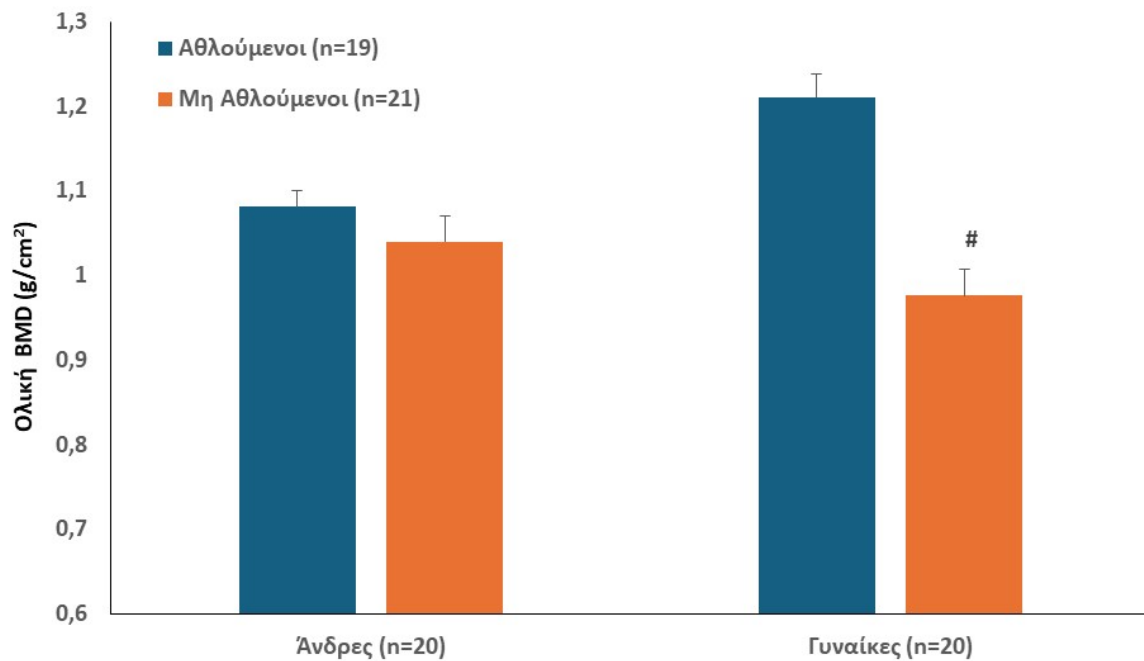
Αναφορικά με την οστική πυκνότητα του τέταρτου οσφυϊκού σπονδύλου, η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα έδειξε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές T-score [ $F_{(1,36)}=5.434$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.131$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=6.298$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.149$ ]. Παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα "Άσκηση" στην BMD του 4<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου [ $F_{(1,36)}=13.537$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.273$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=16.752$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.318$ ] και στο Z-score [ $F_{(1,36)}=14.266$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.284$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες ( $p<0.001$ ). Ως προς τον παράγοντα "Φύλο", στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε στις μεταβλητές BMD [ $F_{(1,36)}=5.652$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.136$ ], T-score [ $F_{(1,36)}=9.145$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.203$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=9.561$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.210$ ] με τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 5).



**Σχήμα 5.** Οστική πυκνότητα 4<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

# $p < 0.01$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών, \* $p < 0.01$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές από τους άνδρες.

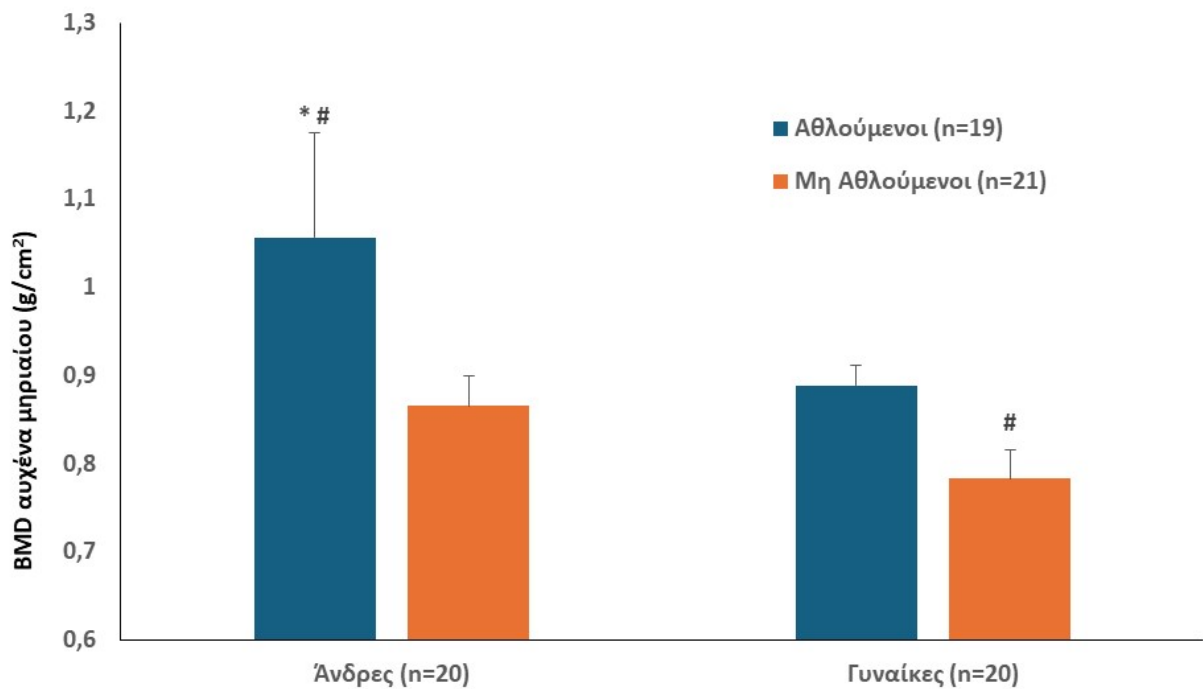
Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα, έδειξε ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές ολική BMD [ $F_{(1,36)}=12.259$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.254$ ], στο ολικό T-score [ $F_{(1,36)}=13.072$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.266$ ] και ολικό Z-score [ $F_{(1,36)}=13.516$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.273$ ]. Παρατηρήθηκε επίσης στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα "Άσκηση" στην ολική BMD [ $F_{(1,36)}=24.992$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.410$ ], στο ολικό T-score [ $F_{(1,36)}=24.641$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.406$ ] και στο ολικό Z-score [ $F_{(1,36)}=24.753$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2=0.407$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες ( $p < 0.001$ ). Ως προς τον παράγοντα "Φύλο", στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε στις μεταβλητές ολικό T-score [ $F_{(1,36)}=7.392$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2=0.170$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=8.477$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2=0.191$ ] με τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην ολική BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 6).



**Σχήμα 6.** Ολική οστική πυκνότητα σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

*#p<0.01: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών*

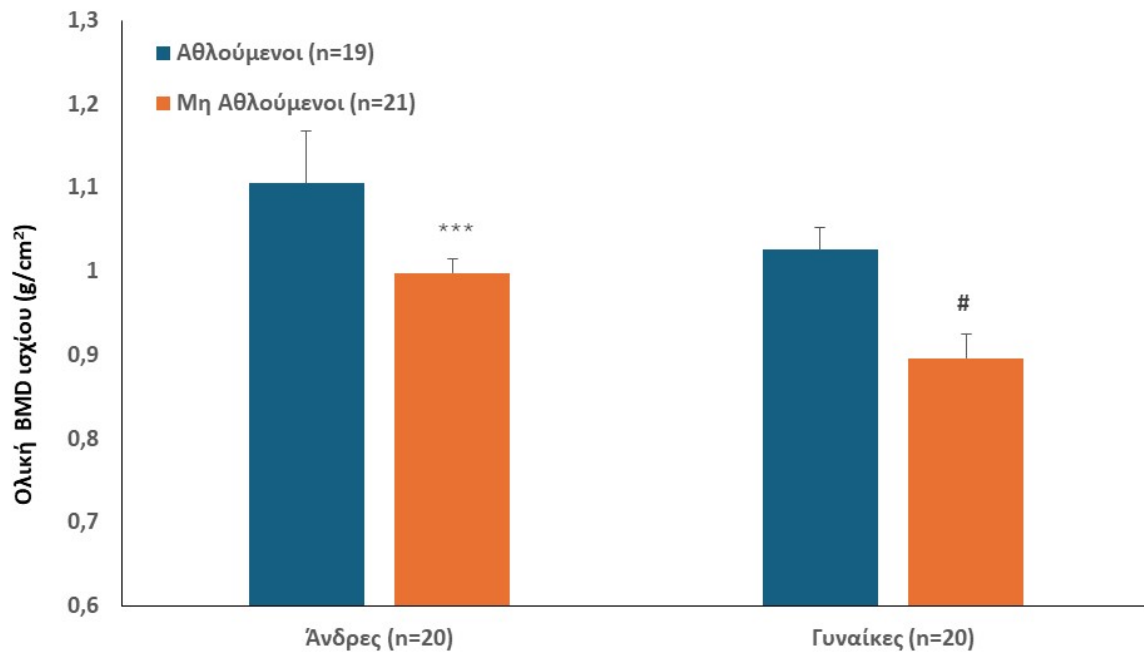
Αναφορικά με την οστική πυκνότητα του αυχένα μηριαίου, η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα έδειξε ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές BMD [ $F_{(1,36)}=0.518$ ,  $p>0.05$ ,  $\eta^2=0.014$ ], T-score [ $F_{(1,36)}=0.532$ ,  $p>0.05$ ,  $\eta^2=0.015$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=0.481$ ,  $p>0.05$ ,  $\eta^2=0.013$ ]. Παρατηρήθηκε ωστόσο στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα “Άσκηση” στην BMD του αυχένα μηριαίου [ $F_{(1,36)}=6.131$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.146$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=7.341$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.169$ ] και στο Z-score [ $F_{(1,36)}=7.202$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.167$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες ( $p<0.001$ ). Ως προς τον παράγοντα “Φύλο”, στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε μόνο στην BMD του αυχένα μηριαίου [ $F_{(1,36)}=4.366$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.108$ ], με τους συστηματικά αθλούμενους άνδρες να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 7).



**Σχήμα 7.** Οστική πυκνότητα αυχένα μηριαίου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

*#p<0.05: στατιστικά σημαντικές διαφορές από τις αθλούμενες γυναίκες, \*p<0.05: στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων ανδρών.*

Αναφορικά με την οστική πυκνότητα του ισχίου, η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα έδειξε ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων Φύλο x Άσκηση στις μεταβλητές BMD του ισχίου [ $F_{(1,36)}=0.103$ ,  $p>0.05$ ,  $\eta^2=0.003$ ], T-score [ $F_{(1,36)}=2.437$ ,  $p>0.05$ ,  $\eta^2=0.127$ ] και Z-score [ $F_{(1,36)}=2.740$ ,  $p>0.05$ ,  $\eta^2=0.071$ ]. Παρατηρήθηκε ωστόσο στατιστικά σημαντική επίδραση του παράγοντα “Άσκηση” στην BMD του ισχίου [ $F_{(1,36)}=10.609$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.228$ ], στο T-score [ $F_{(1,36)}=9.269$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.205$ ] και στο Z-score [ $F_{(1,36)}=9.032$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.201$ ] με τους συστηματικά αθλούμενους να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές συγκριτικά με τους μη αθλούμενους τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες ( $p<0.01$ ). Ως προς τον παράγοντα “Φύλο”, στατιστικά σημαντική επίδραση παρατηρήθηκε μόνο στη μεταβλητή BMD του ισχίου [ $F_{(1,36)}=6.219$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.147$ ], με τις συστηματικά αθλούμενες γυναίκες να παρουσιάζουν καλύτερες τιμές στην BMD συγκριτικά με τις άλλες ομάδες (Σχήμα 8).



**Σχήμα 8.** Ολική οστική πυκνότητα ισχίου σε συστηματικά αθλούμενους (Ομάδα Άσκησης) και μη αθλούμενους (Ομάδα Ελέγχου) άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.  
# $p < 0.05$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αθλούμενων και μη αθλούμενων γυναικών, \*\*\* $p < 0.001$ : στατιστικά σημαντικές διαφορές από τις μη αθλούμενες γυναίκες.

Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (Φύλο x Άσκηση) για ανεξάρτητα δείγματα στις εργαστηριακές εξετάσεις δεν φανέρωσε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων σε καμία μεταβλητή. Επίσης, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντικά επίδραση του παράγοντα άσκηση, ούτε και του παράγοντα φύλο σε καμία μεταβλητή ( $p > 0.05$ ). Η περιγραφική στατιστική των εργαστηριακών μετρήσεων σε συστηματικά αθλούμενους και μη συστηματικά αθλούμενους άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.



**Πίνακας 1.** Περιγραφική στατιστική των εργαστηριακών μετρήσεων σε συστηματικά αθλούμενους και μη συστηματικά αθλούμενους άνδρες και γυναίκες νεαρής ηλικίας.

			Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα (Std. Error)	95% Διαστήματα εμπιστοσύνης	
					Κάτω όριο	Άνω όριο
<b>Ουρία (mg/dl)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	36,511	2,684	31,067	41,955
		Μη αθλούμενοι (n=11)	29,818	2,428	24,894	34,743
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	30,600	2,547	25,435	35,765
		Μη αθλούμενες (n=10)	30,600	2,547	25,435	35,765
<b>Κρεατινίνη (mg/dl)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	1,102	,059	,983	1,222
		Μη αθλούμενοι (n=11)	,871	,053	,763	,979
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	,727	,056	,614	,840
		Μη αθλούμενες (n=10)	,674	,056	,561	,787
<b>Αλβουμίνη (mg/dl)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	5,411	,265	4,873	5,949
		Μη αθλούμενοι (n=11)	4,791	,240	4,304	5,277
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	4,720	,252	4,210	5,230
		Μη αθλούμενες (n=10)	4,450	,252	3,940	4,960
<b>Αλκαλική Φωσφατάση (U/L)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	65,778	5,622	54,376	77,180
		Μη αθλούμενοι (n=11)	55,636	5,085	45,323	65,950
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	55,300	5,333	44,483	66,117
		Μη αθλούμενες (n=10)	46,300	5,333	35,483	57,117
<b>Κρεατινική Κινάση (U/L)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	285,833	44,976	194,618	377,048
		Μη αθλούμενοι (n=11)	197,909	40,682	115,402	280,416
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	125,300	42,668	38,766	211,834
		Μη αθλούμενες (n=10)	96,200	42,668	39,665	182,734
<b>Κάλιο (mmol/L)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	4,400	,111	4,175	4,625
		Μη αθλούμενοι (n=11)	4,364	,100	4,160	4,567
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	4,390	,105	4,177	4,603
		Μη αθλούμενες (n=10)	4,210	,105	3,997	4,423
<b>Νάτριο (mmol/L)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	137,444	,469	136,493	138,396
		Μη αθλούμενοι (n=11)	137,809	,424	136,949	138,670
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	136,960	,445	136,057	137,863
		Μη αθλούμενες (n=10)	136,830	,445	135,927	137,733
<b>Ασβέστιο (mg/dl)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	9,189	,089	9,008	9,370
		Μη αθλούμενοι (n=11)	9,300	,081	9,136	9,464
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	9,180	,085	9,008	9,352
		Μη αθλούμενες (n=10)	9,130	,085	8,958	9,302

(συνεχίζεται)



Πίνακας 1. (συνέχεια)

			Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα (Std. Error)	95% Διαστήματα εμπιστοσύνης	
					Κάτω όριο	Άνω όριο
<b>Φώσφορος (mg/dl)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	3,500	,109	3,278	3,722
		Μη αθλούμενοι (n=11)	3,709	,099	3,508	3,910
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	3,810	,104	3,599	4,021
		Μη αθλούμενες (n=10)	3,530	,104	3,319	3,741
<b>Βιταμίνη D (ng/ml)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	21,600	2,504	16,522	26,678
		Μη αθλούμενοι (n=11)	19,973	2,265	15,380	24,566
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	25,000	2,375	20,183	29,817
		Μη αθλούμενες (n=10)	18,570	2,375	13,753	23,387
<b>Παραθορμόνη (pg/ml)</b>	Άνδρες (n=20)	Αθλούμενοι (n=9)	54,017	8,416	36,948	71,085
		Μη αθλούμενοι (n=11)	59,125	7,613	43,686	74,563
	Γυναίκες (n=20)	Αθλούμενες (n=10)	41,217	7,984	25,025	57,409
		Μη αθλούμενες (n=10)	57,061	7,984	40,869	73,253



## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για την ηλικιακή ομάδα που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, η ακριβέστερη μεταβλητή αξιολόγησης με τη μέθοδο DEXA θεωρείται η BMD και το Z-Score, ενώ το T-Score αφορά μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες και άντρες άνω των 65 ετών. Το Z-Score ήταν μεγαλύτερο του μηδέν και για την οσφυϊκή μοίρα και το ισχίο των αθλούμενων με αντιστάσεις και μεγαλύτερο του αντίστοιχου της ομάδας ελέγχου. Αυτό υποδηλώνει ότι οι αθλούμενοι με αντιστάσεις είχαν μεγαλύτερη οστική πυκνότητα από συνομήλικους τους που δεν αθλούνταν. Η ίδια υπεροχή υπήρχε και στην BMD των αθλούμενων, πέρα από την ολική BMD της οσφυϊκής μοίρας. Από τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψε ότι η άσκηση με αντιστάσεις από νεαρή ηλικία έχει επίδραση στην αύξηση της κορυφαίας οστικής πυκνότητας και στις δύο υπό εξέταση ανατομικές περιοχές.

Η οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης στο σύνολό της εμφάνισε θετική ανταπόκριση στην άσκηση με αντιστάσεις και όχι μόνο με ασκήσεις που προκαλούν αξονικές φορτίσεις, αλλά και μέσω της μυϊκής διάπλασης που προκαλείται. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από την έρευνα των Blimkie και συν. (1996), όπου υπήρξε αύξηση της οστικής πυκνότητας των οσφυϊκών σπονδύλων νέων αθλητριών που ασκούσαν με βάρη. Ακόμη και αν οι αντιστάσεις είναι το βάρος του σώματος του αθλούμενου (Snow-Harter et al., 1992) μπορούν να προκύψουν τα κατάλληλα ερεθίσματα για την αύξηση της οστικής πυκνότητας.

Όσον αφορά το ισχίο, επίσης προέκυψε ότι η προοδευτική υπερφόρτιση (progressive overload) μέσω της άσκησης προάγει την αύξηση της οστικής πυκνότητας. Μια αντίστοιχη έρευνα των Shrek και συν. (2010), στην οποία μελετήθηκε η οστική πυκνότητα σε συστηματικά αθλούμενους με βάρη, ορειβάτες και ομάδα ελέγχου, απέδειξε ότι η άσκηση με βάρη αυξάνει την οστική πυκνότητα στα μακρά οστά (κνήμη) όπως και στο ισχίο.



Έρευνες σε μικρότερες ηλικίες (Dowthwaite et al., 2019; Thein-Nissenbaum et al., 2022) όπου εφαρμόζονται πρωτόκολλα άσκησης με αντιστάσεις στον χώρο του σχολείου, ενισχύουν την άποψη ότι αυξάνεται η οστική πυκνότητα στον αναπτυσσόμενο σκελετό. Βέβαια τα δεδομένα αυτά χρήζουν περαιτέρω εξακρίβωσης για τον βαθμό επίδρασης της άσκησης καθώς κατά την ανάπτυξη του σκελετού εμπλέκονται ποικίλοι εξωγενείς παράγοντες (διατροφή, περιβάλλον) αλλά και ενδογενείς (BMI, γενετικοί).

Αναφορικά με τα αποτελέσματα των αιματολογικών εξετάσεων και την απουσία διαφορών, όσον αφορά τους δείκτες που σχετίζονται με τον μεταβολισμό των οστών (ασβέστιο, βιταμίνη D, παραθορμόνη), δεν υπάρχει αντίστοιχη βιβλιογραφία. Το κομμάτι αυτό της έρευνας χρήζει περαιτέρω μελέτης, με μέτρηση βιοχημικών δεικτών οστικού μεταβολισμού όπως η αλκαλική φωσφατάση (bone-specific alkaline phosphatase -BSAP), οστεοκαλσίνη, το αμινο-τελικό προπεπτίδιο του προκολλαγόνου τύπου 1 (P1NP, N-terminal propeptide of type I procollagen). Η μέτρηση των δεικτών αυτών δεν είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη και χρήζει εξειδικευμένων διαγνωστικών κέντρων.

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η άσκηση με αντιστάσεις αποτελεί ένα ισχυρό μέσο αύξησης της κορυφαίας οστικής πυκνότητας. Ιδίως όταν ένα πρωτόκολλο εφαρμόζεται από νεαρή ηλικία, πέρα από τα άμεσα οφέλη που προκύπτουν για την ανάπτυξη ενός υγιούς μυοσκελετικού συστήματος, δημιουργούνται και μακροχρόνια οφέλη. Το σώμα διατηρεί την οστική του δομή και αντιστέκεται της φυσιολογικής φθοράς. Ένας τέτοιος τρόπος ζωής θα αποτελέσει μέσω πρόληψης της οστεοπόρωσης και των επώδυνων και πολλές φορές θανατηφόρων επιπλοκών της.



## VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προκύπτει ότι η άσκηση με αντιστάσεις από την νεαρή ηλικία έχει θετική επίδραση στην οστική πυκνότητα με αύξηση των τιμών της κορυφαίας οστικής μάζας.

Συγκεκριμένα από την παρούσα έρευνα προκύπτει ότι:

- Η άσκηση αυξάνει την κορυφαία οστική πυκνότητα σε οσφύ και ισχίο σε ηλικίες 25-30.
- Η αύξηση αυτή εντοπίζεται και στις τρεις παραμέτρους της DEXA (BMD, T-Score, Z-Score) και στην οσφύ και στο ισχίο.
- Η αύξηση εντοπίζεται και στα ολικά αποτελέσματα, αλλά και σε κάθε σπόνδυλο και ανατομική περιοχή του ισχίου ξεχωριστά.
- Ο παράγοντας φύλο παίζει ρόλο στην οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, όπως προκύπτει τόσο από το T-Score όσο και το Z-Score.
- Στο ισχίο, αντίθετα, ο παράγοντας φύλο επιδρά σημαντικότερα στη BMD των γυναικών.
- Η αλληλεπίδραση άσκησης και φύλο επίσης έχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην κορυφαία οστική πυκνότητα και στις δύο ανατομικές περιοχές για κάθε υπό μελέτη παράμετρο.
- Οι εργαστηριακές αιματολογικές εξετάσεις δεν παρουσιάζουν μεταβολή ούτε ως προς το φύλο ούτε από την άσκηση.

Συμπερασματικά, η άσκηση με αντιστάσεις εκτός από τρόπο αντιμετώπισης της οστεοπόρωσης σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες και άντρες υψηλού κινδύνου, μπορεί να αποτελέσει και μέσο πρόληψης. Η υιοθέτηση ενός δραστήριου τρόπου ζωής και μυϊκής ενδυνάμωσης όχι μόνο θα παρατείνει το ηλικιακό όριο στο οποίο εμφανίζεται η οστεοπόρωση, αλλά μπορεί και να μειώσει τη συχνότητα εμφάνισής της.



### Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες

Η παρούσα μελέτη δίνει την ευκαιρία για περαιτέρω εξέλιξή της. Αναφορικά, νέα σημεία ενδιαφέροντος θα μπορούσαν να είναι:

- Ο σχεδιασμός της μελέτης να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερο δείγμα πληθυσμού.
- Μελέτη με μέτρηση οστικής πυκνότητας πριν και μετά την εφαρμογή πρωτοκόλλου άσκησης με αντιστάσεις.
- Παρακολούθηση του δείγματος σε επόμενα χρόνια για σύγκριση του ρυθμού ελάττωσης της οστικής πυκνότητας.
- Μελέτη σε γενετικό επίπεδο για την ανταπόκριση στην άσκηση με αντιστάσεις.
- Επιπλέον εργαστηριακός έλεγχος από εξειδικευμένα κέντρα για μέτρηση βιοχημικών δεικτών οστικού μεταβολισμού όπως η αλκαλική φωσφατάση (bone-specific alkaline phosphatase -BSAP), η οστεοκαλσίνη, το αμινο-τελικό προπεπτίδιο του προκολλαγόνου τύπου 1 (P1NP, N-terminal propeptide of type I procollagen).
- Σύγκριση με άλλα είδη άσκησης.



## IX. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allison S.J., Poole K.E., Treece G.M., Gee A.H., Tonkin C., Rennie W.J, Folland J.P., Summers G.D., & Brooke-Wavell K. (2015). The Influence of High-Impact Exercise on Cortical and Trabecular Bone Mineral Content and 3D Distribution Across the Proximal Femur in Older Men: A Randomized Controlled Unilateral Intervention. *J Bone Miner Res*, 30(9):1709-16. doi: 10.1002/jbmr.2499. PMID: 25753495.
- Ambrose, K. R., & Golightly, Y. M. (2015). Physical exercise as non-pharmacological treatment of chronic pain: Why and when. *Best Practice and Research: Clinical Rheumatology*, 29:1, 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2015.04.022>
- Anker, S. D., Morley, J. E., & von Haehling, S. (2016). Welcome to the ICD-10 code for sarcopenia. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 7(5): 512–514. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12147>
- Anwar, F., Iftekhar, H., Taher, T., Kazmi, S. K., Rehman, F. Z., Humayun, M., & Mahmood, S. (2019). Dual Energy X-ray Absorptiometry Scanning and Bone Health: The Pressing Need to Raise Awareness Amongst Pakistani Women. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.5724>
- Aspray, T. J., & Hill, T. R. (2019). Osteoporosis and the ageing skeleton. *Subcellular Biochemistry*, 91: 453–476. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3681-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3681-2_16)
- Athanasakis, K., Karampli, E., Ollandezos, M., Papagiannopoulou, V., Badamgarav, E., Intorcchia, M., & Kyriakopoulos, J. (2011). The economic burden of postmenopausal osteoporosis and related fractures in Greece. <http://www.iofbonehealth.org/facts-and-statistics.html#factsheet-category-22>
- Augat, P., & Schorlemmer, S. (2006). The role of cortical bone and its microstructure in bone strength. *Age and Ageing*, 35(SUPPL.2). <https://doi.org/10.1093/ageing/afl081>
- Bachrach L.K., Hastie T., Wang M.C., Narasimhan B., & Marcus R. (1999). Bone mineral acquisition in healthy Asian, Hispanic, black, and Caucasian youth: a longitudinal study. *J Clin Endocrinol Metab*, 84(12): 4702–4712.
- Baert, L., Sartor, K., & Springer, S. (2002). Radiology of Osteoporosis. In: Grampp, S. (eds) Radiology of Osteoporosis. Medical Radiology. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-68604-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68604-0_6).



- Baig, M. A., & Bacha, D. (2023). Histology, Bone. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Bailey C.A., & Brooke-Wavell K. (2010). Optimum frequency of exercise for bone health: randomized controlled trial of a high-impact unilateral intervention. *Bone*, 46:1043-9.
- Beckett, E. (2020). More than bone health: The many roles for vitamin D. *Nutrients*, 12(8): 1-3. <https://doi.org/10.3390/nu12082388>
- Beck B.R., Daly R.M., Singh M.A., & Taaffe D.R. (2017). Exercise and Sports Science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for the prevention and management of osteoporosis. *J Sci Med Sport*, 17, 20:438-45.
- Benedetti, M. G., Furlini, G., Zati, A., & Letizia Mauro, G. (2018). The Effectiveness of Physical Exercise on Bone Density in Osteoporotic Patients. *BioMed research international*, 2018, 4840531. <https://doi.org/10.1155/2018/4840531>
- Berger C., Goltzman D., Langsetmo L., Joseph L., Jackson S., Kreiger N., Tenenhouse A., Davison K.S., Josse R.G., Prior J.C., Hanley D.A; CaMos Research Group. (2010). Peak bone mass from longitudinal data: implications for the prevalence, pathophysiology, and diagnosis of osteoporosis. *J Bone Miner Res*, 25(9): 1948–1957.
- Bonjour J.P., & Chevalley T. (2014). Pubertal timing, bone acquisition, and risk of fracture throughout life. *Endocr Rev*, 35(5): 820–847.
- Binkovitz, L. A., & Henwood, M. J. (2007). Pediatric DXA: Technique and interpretation. In *Pediatric Radiology*, 37(1): 21–31. <https://doi.org/10.1007/s00247-006-0153-y>
- Blake, G. M., & Fogelman, I. (2007). The role of DXA bone density scans in the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Postgraduate Medical Journal*, 83(982): 509-517. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2007.057505>
- Bone, H. G., Wagman, R. B., Brandi, M. L., Brown, J. P., Chapurlat, R., Cummings, S. R., Czerwiński, E., Fahrleitner-Pammer, A., Kendler, D. L., Lippuner, K., Reginster, J. Y., Roux, C., Malouf, J., Bradley, M. N., Daizadeh, N. S., Wang, A., Dakin, P., Pannacciulli, N., Dempster, D. W., & Papapoulos, S. (2017). 10 years of denosumab treatment in postmenopausal women with osteoporosis: results from the phase 3 randomised Freedom trial and open-label extension. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*, 5(7): 513–523. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30138-9](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30138-9)



- Bullard, T., Ji, M., An, R., Trinh, L., MacKenzie, M., & Mullen, S. P. (2019). A systematic review and meta-analysis of adherence to physical activity interventions among three chronic conditions: Cancer, cardiovascular disease, and diabetes. *BMC Public Health*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6877-z>
- Cappozzo, A., Felici, F., Figura, F., & Gazzani, F. (1985). Lumbar spine loading during half-squat exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(5): 613–620. <https://doi.org/10.1249/00005768-198510000-00016>
- Chevalley, T., & Rizzoli, R. (2022). Acquisition of peak bone mass. Best practice & research. *Clinical Endocrinology & Metabolism*, 36(2), 101616. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2022.101616>
- Ciancia, S., van Rijn, R. R., Höglér, W., Appelman-Dijkstra, N. M., Boot, A. M., Sas, T. C. J., & Renes, J. S. (2022). Osteoporosis in children and adolescents: when to suspect and how to diagnose it. *European Journal of Pediatrics*, 181(7), 2549–2561. <https://doi.org/10.1007/s00431-022-04455-2>
- Ciosek, Ż., Kot, K., Kosik-Bogacka, D., Łanocha-Arendarczyk, N., & Rotter, I. (2021). The Effects of Calcium, Magnesium, Phosphorus, Fluoride, and Lead on Bone Tissue. *Biomolecules*, 11(4), 506. <https://doi.org/10.3390/biom11040506>
- Conroy, B.P., Kraemer, W.J., Maresh, C.M. and Dalsky, G.P. (1992) Adaptive Responses of Bone to Physical Activity. *Medicine Exercise Nutrition Health*, 1, 64-74
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., Bautmans, I., Baeyens, J. P., Cesari, M., ... Schols, J. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1): 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- Curtis, E. M., Moon, R. J., Harvey, N. C., & Cooper, C. (2017). The impact of fragility fracture and approaches to osteoporosis risk assessment worldwide. *Bone*, 104, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.01.024>
- De Martinis, M., Sirufo, M. M., Polsinelli, M., Placidi, G., di Silvestre, D., & Ginaldi, L. (2020). Gender differences in osteoporosis: A single- center observational study. *World Journal of Men's Health*, 38, 2287–4690. <https://doi.org/10.5534/WJMH.200099>
- De Villiers, T. J., & Goldstein, S. R. (2022). Bone health 2022: an update. *Climacteric*, 25(1):1–3. <https://doi.org/10.1080/13697137.2021.1965408>



- Duncan Bassett, J. H., & Williams, G. R. (2016). Role of thyroid hormones in skeletal development and bone maintenance. *Endocrine Reviews*, 37(2): 135–187. <https://doi.org/10.1210/er.2015-1106>
- El Maghraoui, A., & Roux, C. (2008). DXA scanning in clinical practice. *QJM*, 101(8):605–617. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcn022>
- Faulkner, K. G. (2005). The tale of the T-score: Review and perspective. *Osteoporosis International*, 16(4): 347–352. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1779-y>
- Faulkner R.A., & Bailey D.A. (2007). Osteoporosis: a pediatric concern? *Med Sport Sci*, 51: 1-12.
- Fleet, J. C. (2017). The role of vitamin D in the endocrinology controlling calcium homeostasis. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 453:36–45. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.04.008>
- Fleg J.L. (2012). Aerobic exercise in the elderly: a key to successful aging. *Discov Med*, 13:223-8.
- Floras J.S., Notarius C.F., & Harvey P.J. (2006). Exercise training: not a class effect. Blood pressure more buoyant after swimming than walking. *J Hypertens*, 24:269-72.
- Frost H.M. (1988). Vital biomechanics: proposed general concepts for skeletal adaptations to mechanical usage. *Calcif Tissue Int*, 42:145-56.
- Giangregorio L.M., Papaioannou A., Macintyre N.J., Ashe M.C., Heinonen A., Shipp K., Wark J., McGill S., Keller H., Jain R., Laprade J., & Cheung A.M. (2014). Too Fit To Fracture: exercise recommendations for individuals with osteoporosis or osteoporotic vertebral fracture. *Osteoporos Int.*, 25(3):821-35. doi: 10.1007/s00198-013-2523-2. Epub 2013 Nov 27. PMID: 24281053; PMCID: PMC5112023.
- Going, S. B., & Lauder milk, M. (2009). Osteoporosis and Strength Training. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 3(4): 310–319 <https://doi.org/10.1177/1559827609334979>
- Gonera-Furman, A., Bolanowski, M., & Jędrzejuk, D. (2022). Osteosarcopenia—The Role of Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA) in Diagnostics. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm11092522>
- Goodpaster, B. H., Park, S. W., Harris, T. B., Kritchevsky, S. B., Nevitt, M., Schwartz, A. v, Simonsick, E. M., Tylavsky, F. A., Visser, M., & Newman, A. B. (2006). The Loss of Skeletal Muscle Strength, Mass, and Quality in Older Adults: The Health, Aging and



- Body Composition Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 61(10):1059-64. doi: 10.1093/gerona/61.10.1059. PMID: 17077199.
- Granhed, H., Jonson, R., & Hansson, T. (1987). The loads on the lumbar spine during extreme weightlifting. *Spine*, 12(2), 146–149. <https://doi.org/10.1097/00007632-198703000-00010>
- Guadalupe-Grau A., Fuentes T., Guerra B., Calbet J.A. (2009). Exercise and bone mass in adults. *Sports Med*, 39:439-68.
- Hadjidakis, D. J., & Androulakis, I. I. (2006). Bone remodeling. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1092, 385–396. <https://doi.org/10.1196/annals.1365.035>
- Haff, G., & Triplett, T. (2016). *Essentials of Strength and Conditioning* (4th ed.). Human Kinetics. ISBN: 978-1-4925-0162-6
- Hart, N. H., Newton, R. U., Tan, J., Rantalainen, T., Chivers, P., Siafarikas, A., & Nimphius, S. (2020). Biological basis of bone strength: anatomy, physiology and measurement. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 1;20(3):347-371. PMID: 32877972; PMCID: PMC7493450.
- Hayden, J. A., Cartwright, J., van Tulder, M. W., & Malmivaara, A. (2012). Exercise therapy for chronic low back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd009790>
- Heinonen, A., Sievänen, H., Kannus, P., Oja, P., Pasanen, M., & Vuori, I., (2000) High-Impact Exercise and Bones of Growing Girls: A 9-Month Controlled Trial. *Osteoporos Int* 11, 1010–1017
- Hernlund, E., Svedbom, A., Ivergård, M., Compston, J., Cooper, C., Stenmark, J., McCloskey, E. v., Jönsson, B., & Kanis, J. A. (2013). Osteoporosis in the European Union: Medical management, epidemiology and economic burden: A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Archives of Osteoporosis*, 8(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11657-013-0136-1>
- Hong A.R., & Kim S.W. (2018). Effects of Resistance Exercise on Bone Health. *Endocrinol Metab (Seoul)*, 33(4):435-444. doi: 10.3803/EnM.2018.33.4.435. PMID: 30513557; PMCID: PMC6279907.
- Howe T.E., Shea B., Dawson L.J., Downie F., Murray A., Ross C., Harbour R.T., Caldwell L.M., & Creed G. (2011). Exercise for preventing and treating osteoporosis in



- postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev.*, 6;(7):CD000333. doi: 10.1002/14651858.CD000333.pub2. PMID: 21735380.
- Johnell, O., & Kanis, J. A. (2006). An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporosis International*, 17(12), 1726–1733. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0172-4>
- Fonseca-Junior S.J., Sá C.G., Rodrigues P.A., Oliveira A.J., & Fernandes-Filho J. (2013). Physical exercise and morbid obesity: a systematic review. *Arq Bras Cir Dig*, 26 Suppl 1:67-73. English, Portuguese. doi: 10.1590/s0102-67202013000600015. PMID: 24463903.
- Izquierdo M., & Cadore E.L. (2014). Muscle power training in the institutionalized frail: a new approach to counteracting functional declines and very late-life disability. *Curr Med Res Opin*, 30:1385-90.
- Kanehisa H, Fukunaga T. (1999). Profiles of musculoskeletal development in limbs of college Olympic weightlifters and wrestlers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. Apr;79(5):414-20. doi: 10.1007/s004210050531. PMID: 10208250.
- Kanis, J. A., Harvey, N. C., McCloskey, E., Bruyère, O., Veronese, N., Lorentzon, M., Cooper, C., Rizzoli, R., Adib, G., Al-Daghri, N., Campusano, C., Chandran, M., Dawson-Hughes, B., Javaid, K., Jiwa, F., Johansson, H., Lee, J. K., Liu, E., Messina, D., ... Reginster, J. Y. (2020). Algorithm for the management of patients at low, high and very high risk of osteoporotic fractures. *Osteoporosis International*, 31(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-05176-3>
- Karlsson, M. K., Nordqvist, A., & Karlsson, C. (2008). Physical activity increases bone mass during growth. *Food Nutr Res*, 52. doi: 10.3402/fnr.v52i0.1871. Epub 2008 Oct 1. PMID: 19109652; PMCID: PMC2596740.
- Karlsson, M. K., & Rosengren, B. E. (2020). Exercise and Peak Bone Mass. *Current Osteoporosis Reports*, 18(3): 285–290. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11914-020-00588-1>
- Keaveny, T. M., Morgan, E. F., Niebur, G. L., & Yeh, O. C. (2001). Biomechanics of trabecular bone. *Annu Rev Biomed Eng*, 3:307-33. doi: 10.1146/annurev.bioeng.3.1.307. PMID: 11447066.
- Keen M.U., & Reddivari A.K.R. (2023). Osteoporosis in Females. 2023 Jun 12. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-PMID: 32644582.



- Kelsey JL. (1989). Risk factors for osteoporosis and associated fractures. *Public Health Rep.* 104 Suppl(Suppl):14-20. PMID: 2517695; PMCID: PMC1580372.
- Kemmler, W., Kohl, M., Jakob, F., Engelke, K., & von Stengel, S. (2020). Effects of high intensity dynamic resistance exercise and whey protein supplements on osteosarcopenia in older men with low bone and muscle Mass. Final results of the randomized controlled FrOST study. *Nutrients*, 12(8), 1–18. <https://doi.org/10.3390/nu12082341>
- Kenkre, J. S., & Bassett, J. H. D. (2018). The bone remodelling cycle. *Annals of Clinical Biochemistry*, 55(3): 308–327. <https://doi.org/10.1177/0004563218759371>
- Kerr D., Morton A., Dick I., & Prince R. (1996). Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J Bone Miner Res*, 11:218-25.
- Khosla, S., & Monroe, D. G. (2018). Regulation of Bone Metabolism by Sex Steroids. *Cold Spring Harb Perspect Med*, 2;8(1): a031211. doi: 10.1101/cshperspect.a031211. PMID: 28710257; PMCID: PMC5749141.
- Khosla, S., Oursler, M. J., & Monroe, D. G. (2012). Estrogen and the skeleton. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 23(11): 576–581. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2012.03.008>
- Kierszenbaum, A. L., & Tres, L. L. (2012). *Histology and Cell Biology*. M. Hyde, Ed.; 3rd ed., Vol. 1, Elsevier Saunders.
- Klein-Nulend, J., Bacabac, R. G., & Mullender, M. G. (2005). Mechanobiology of bone tissue. *Pathologie Biologie*, 53(10), 576–580. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2004.12.005>
- Komori, T. (2020). Functions of osteocalcin in bone, pancreas, testis, and muscle. In *International Journal of Molecular Sciences*, 21(20): 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijms21207513>
- Krugh M., & Langaker M.D. (2023). Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan PMID: 30085584.
- Lambert, C., Beck, B. R., Harding, A. T., Watson, S. L., & Weeks, B. K. (2017). A protocol for a randomised controlled trial of the bone response to impact loading or resistance training in young women with lower than average bone mass: The OPTIMA-Ex trial. *BMJ Open*, 7(9). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016983>



- Marques E.A., Mota J., & Carvalho J. (2012). Exercise effects on bone mineral density in older adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Age (Dordr)*, 12;34:1493-515.
- Martyn-St James M., & Carroll S. (2008). Meta-analysis of walking for preservation of bone mineral density in postmenopausal women. *Bone*, 43:521-31.
- Ma D., Wu L., & He Z. (2013). Effects of walking on the preservation of bone mineral density in perimenopausal and postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Menopause*, 20:1216-26.
- Martyn-St James M., & Carroll S. (2006). Progressive high-intensity resistance training and bone mineral density changes among premenopausal women: evidence of discordant site-specific skeletal effects. *Sports Med*, 36:683-704.
- Matkovic, V., Jelic, T., Wardlaw, G. M., Llich, J. Z., Goel, P. K., Wright, J. K., Andon, M. B., Smith, K. T., & Heaney, R. P. (1994). Timing of peak bone mass in Caucasian females and its implication for the prevention of osteoporosis: Inference from a cross-sectional model. *Journal of Clinical Investigation*, 93(2), 799–808. <https://doi.org/10.1172/JCI117034>
- McKiernan, F. E., Berg, R. L., & Linneman, J. G. (2011). The utility of BMD Z-score diagnostic thresholds for secondary causes of osteoporosis. *Osteoporosis International*, 22(4), 1069–1077. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1307-1>
- Messina, C., Albano, D., Gitto, S., Tofanelli, L., Bazzocchi, A., Olivieri, F. M., Guglielmi, G., & Sconfienza, L. M. (2020). Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: From basics to new tools. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 10(8): 1687–1698. <https://doi.org/10.21037/QIMS.2020.03.02>
- Min, S. K., Oh, T., Kim, S. H., Cho, J., Chung, H. Y., Park, D. H., & Kim, C. S. (2019). Position statement: Exercise guidelines to increase peak bone mass in adolescents. *Journal of Bone Metabolism*, 26(4): 225–239. Korean Society for Bone and Mineral Research. <https://doi.org/10.11005/jbm.2019.26.4.225>.
- Mosekilde, L., Thomsen, J.S., Mosekilde, E. (1995). *Dynamics of Bone Remodelling*. In: Mosekilde, E., Mouritsen, O.G. (eds) *Modelling the Dynamics of Biological Systems*. Springer Series in Synergetics, vol 65. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-79290-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-79290-8_10).
- Neufer, P. D., Bamman, M. M., Muoio, D. M., Bouchard, C., Cooper, D. M., Goodpaster, B. H., Booth, F. W., Kohrt, W. M., Gerszten, R. E., Mattson, M. P., Hepple, R. T., Kraus,



- W. E., Reid, M. B., Bodine, S. C., Jakicic, J. M., Fleg, J. L., Williams, J. P., Joseph, L., Evans, M., ... Laughlin, M. R. (2015). Understanding the Cellular and Molecular Mechanisms of Physical Activity-Induced Health Benefits. *Cell Metabolism*, 22(1): 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.05.011>.
- Nikander R., Gagnon .C, Dunstan D.W., Magliano D.J., Ebeling P.R., Lu Z.X, Zimmet P.Z., Shaw J.E., & Daly R.M. (2011). Frequent walking, but not total physical activity, is associated with increased fracture incidence: a 5-year follow-up of an Australian population-based prospective study (AusDiab). *J Bone Miner Res*, 26(7):1638-47. doi: 10.1002/jbmr.363. PMID: 21328475.
- Oftadeh, R., Perez-Viloria, M., Villa-Camacho, J. C., Vaziri, A., & Nazarian, A. (2015). Biomechanics and Mechanobiology of Trabecular Bone: A Review. *Journal of Biomechanical Engineering*, 137(1). <https://doi.org/10.1115/1.4029176>.
- Palombaro K.M., Black J.D., Buchbinder R., & Jette D.U. (2013). Effectiveness of exercise for managing osteoporosis in women postmenopause. *Phys Ther*, 93:1021-5.
- Patel, H., Sammut, L., Denison, H., Teesdale-Spittle, P., & Dennison, E. (2020). The Relationship Between Non-elite Sporting Activity and Calcaneal Bone Density in Adolescents and Young Adults: A Narrative Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00167>
- Peppone, L. J., Hebl, S., Purnell, J. Q., Reid, M. E., Rosier, R. N., Mustian, K. M., Palesh, O. G., Huston, A. J., Ling, M. N., & Morrow, G. R. (2010). The efficacy of calcitriol therapy in the management of bone loss and fractures: A qualitative review. *Osteoporosis International*, 21(7): 1133–1149. <https://doi.org/10.1007/s00198-009-1136-2>.
- Pocock, N., Eisman, E., Gwinn, T., Sambrook, P., Kelly, P., Freund, J., & Yeates, M. (1989). Muscle strength, physical fitness, and weight but not age predict femoral neck bone mass. *J Bone Miner Res*, 4(3):441-8. doi: 10.1002/jbmr.5650040320. PMID: 2763880.
- Pondel M. (2000). Calcitonin and calcitonin receptors: bone and beyond. *Int J Exp Pathol*, 81(6):405-22. doi: 10.1046/j.1365-2613.2000.00176.x. PMID: 11298188; PMCID: PMC2517743.
- Pouresmaeili, F., Kamalidehghan, B., Kamarehei, M., & Goh, Y. M. (2018). A comprehensive overview on osteoporosis and its risk factors. *Ther Clin Risk Manag*, 6;14:2029-2049. doi: 10.2147/TCRM.S138000. PMID: 30464484; PMCID: PMC6225907.



- Πουρνάρας, Ι. (2009). *Ορθοπαιδική Χειρουργική* (2nd ed.). Πασχαλίδης. ISBN:978-960-399-767-2
- Rachner, T. D., Khosla, S., & Hofbauer, L. C. (2011). Osteoporosis: now and the future. *Lancet.*, 377(9773):1276-87. doi: 10.1016/S0140-6736(10)62349-5. Epub 2011 Mar 28. PMID: 21450337; PMCID: PMC3555696.
- Raven, P. B., Wasserman, D. H., Squires, W. G., & Murray, T. D. (2016). *Exercise Physiology: An integrated Approach* (1st ed.). WADSWORTH. ISBN: 978-960-7875-90-7
- Recker R.R., Davies K.M., Hinders S.M., Heaney R.P., Stegman M.R., & Kimmel D.B. (1922). Bone gain in young adult women. *JAMA*, 268 (17): 2403–2408.
- Rector R.S., Rogers R., Ruebel M., & Hinton P.S. (2008). Participation in road cycling vs running is associated with lower bone mineral density in men. *Metabolism*, 57:226-32.
- Richmond B. (2003). DXA scanning to diagnose osteoporosis: do you know what the results mean? *Cleve Clin J Med.*, 70(4):353-60. doi: 10.3949/ccjm.70.4.353. PMID: 12701991.
- Rizzoli, R., Bonjour, J., & Ferrari, S. (2001). Osteoporosis, genetics and hormones. *Journal of Molecular Endocrinology*, 26(2), 79-94. Retrieved Feb 20, 2024, from <https://doi.org/10.1677/jme.0.0260079>
- Rupich RC, Specker BL, Lieuw-A-Fa M, Ho M. (1996). Gender and race differences in bone mass during infancy. *Calcif Tissue Int.* 58(6):395-7. doi: 10.1007/BF02509436. PMID: 8661478.
- Sale, C., & Elliott-Sale, K. J. (2019). Nutrition and Athlete Bone Health. *Sports Med*, 49(Suppl 2):139-151. doi: 10.1007/s40279-019-01161-2. PMID: 31696454; PMCID: PMC6901417.
- Saponaro, F., Saba, A., & Zucchi, R. (2020). An update on vitamin d metabolism. In *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18):1-19, 6573; <https://doi.org/10.3390/ijms21186573>
- Schweighofer, N., Colantonio, C., Haudum, C. W., Hutz, B., Kolesnik, E., Mursic, I., Pilz, S., Schmidt, A., Stadlbauer, V., Zirlik, A., Pieber, T. R., Verheyen, N., & Obermayer-Pietsch, B. (2022). DXA-derived indices in the characterization of sarcopenia. *Nutrients*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/nu14010186>



- Seeman, E. (2001). Sexual Dimorphism in Skeletal Size, Density, and Strength. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 86(10):4576 – 4584
- Shalof, H., Dimitri, P., Shuweihdi, F., & Offiah, A. C. (2021). “Which skeletal imaging modality is best for assessing bone health in children and young adults compared to DXA? A systematic review and meta-analysis.” In *Bone* (Vol. 150). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2021.116013>
- Sharma, U., Pal, D., & Prasad, R. (2014). Alkaline phosphatase: an overview. *Indian J Clin Biochem*. 29(3):269-78. doi: 10.1007/s12291-013-0408-y. Epub 2013 Nov 26. PMID: 24966474; PMCID: PMC4062654.
- Shepherd, J. A., Ng, B. K., Sommer, M. J., & Heymsfield, S. B. (2017). Body composition by DXA. *Bone*, 104, 101–105. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.06.010>
- Shevroja, E., Cafarelli, F. P., Guglielmi, G., & Hans, D. (2021). DXA parameters, Trabecular Bone Score (TBS) and Bone Mineral Density (BMD), in fracture risk prediction in endocrine-mediated secondary osteoporosis. *Endocrine*, 74(1):20-28. doi: 10.1007/s12020-021-02806-x. PMID: 34245432; PMCID: PMC8440280.
- Sherrington C., Tiedemann A., Fairhall N., Close J.C., & Lord S.R. (2011). Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta-analysis and best practice recommendations. *N S W Public Health Bull*, 22:78-83.
- Steib S., Schoene D., & Pfeifer K. (2010). Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 42:902-14.
- Stock, J. T. (2018). Wolff’s law (bone functional adaptation). *The International Encyclopedia of Biological Anthropology*, <https://doi.org/10.1002/9781118584538.ieba0521>
- Strope, M. A., Nigh, P., Carter, M. I., Lin, N., Jiang, J., & Hinton, P. S. (2015). Physical Activity–Associated Bone Loading During Adolescence and Young Adulthood Is Positively Associated With Adult Bone Mineral Density in Men. *American Journal of Men’s Health*, 9(6), 442–450. <https://doi.org/10.1177/1557988314549749>
- Szulc, P., Seeman, E., & Delmas, P. D. (n.d.) (2000). Biochemical Measurements of Bone Turnover in Children and Adolescents. *Osteoporos Int*, 11:281–294
- Taaffe, D. R., Robinson, T. L., Snow, C. M., & Marcus, R. (1997). High-impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *Journal of Bone and Mineral Research*, 12(2), 255–260. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.2.255>



- Teegarden D., Proulx W.R., Martin B.R., Zhao J., McCabe G.P., Lyle R.M., Peacock M., Slemenda C., Johnston C.C., & Weaver C.M. (1995). Peak bone mass in young women. *J Bone Miner Res*, 10(5): 711–715.
- Turner C.H., & Robling A.G. (2005). Mechanisms by which exercise improves bone strength. *J Bone Miner Metab*, 23 Suppl:16-22.
- Vander, A., Sherman, J., & Luciano, D. (2001). *The Mechanisms of Body Function*, K. T. Kane, Ed.; 8th ed., Vol. 1, Lange, Michael D.
- von Stengel S., Kemmler W., Kalender W.A., Engelke K., & Lauber D. (2007). Differential effects of strength versus power training on bone mineral density in postmenopausal women: a 2-year longitudinal study. *Br J Sports Med*, 41:649-55.
- Wein, M. N., & Kronenberg, H. M. (2018). Regulation of bone remodeling by parathyroid hormone. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(8). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a031237>
- Wilson C.R., Fogelman I., Blake G.M., & Rodin A. (1991). The effect of positioning on dual energy X-ray bone densitometry of the proximal femur. *Bone Miner*, 13(1):69-76. doi: 10.1016/0169-6009(91)90051-z. PMID: 2065219.
- Wittich, A., Mautalen, C. A., Oliveri, M. B., Bagur, A., Somoza, F., & Rotemberg, E. (1998). Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size than age- and BMI-matched controls. *Calcif Tissue Int*, 63(2):112-7. doi: 10.1007/s002239900499. PMID: 9685514.
- Wojda, S. J., & Donahue, S. W. (2018). Parathyroid hormone for bone regeneration. *J Orthop Res*, 36(10):2586-2594. doi: 10.1002/jor.24075. PMID: 29926970.
- Wolff, I., van Croonenborg, J. J., Kemper, H. C. G., Kostense, P. J., & Twisk, J. W. R. (1999). The effect of exercise training programs on bone mass: a meta-analysis of published controlled trials in pre- and postmenopausal women. *Osteoporos Int*, 9(1):1-12. doi: 10.1007/s001980050109. PMID: 10367023.
- Xie, J., Guo, J., Kanwal, Z., Wu, M., Lv, X., Ibrahim, N. A., Li, P., Buabeid, M. A., Arafa, E. S. A., & Sun, Q. (2020). Calcitonin and Bone Physiology: In Vitro, In Vivo, and Clinical Investigations. *Int J Endocrinol*, 10;2020:3236828. doi: 10.1155/2020/3236828. PMID: 32963524; PMCID: PMC7501564.
- Yu, X., Sun, S., Zhang, S., Hao, Q., Zhu, B., Teng, Y., Long, Q., Li, S., Lv, Y., Yue, Q., Lu, S., & Teng, Z. (2022). A pooled analysis of the association between sarcopenia and



osteoporosis. *Medicine (Baltimore)*. 101(46):e31692. doi: 10.1097/MD.00000000000031692. PMID: 36401390; PMCID: PMC9678526.

Zehnacker C.H., & Bemis-Dougherty A. (2007). Effect of weighted exercises on bone mineral density in post menopausal women: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther*, 30:79-88.

Zhu X., & Zheng H. (2020). Factors influencing peak bone mass gain. *Front Med*, 15(1):53-69. doi: 10.1007/s11684-020-0748-y. Epub 2020 Jun 9. PMID: 32519297.

Zhu, K., & Prince, R. L. (2012). Calcium and bone. *Clin Biochem*, 45(12):936-42. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2012.05.006. Epub 2012 May 17. PMID: 22609892.

Zouhal, H., Berro, A. J., Kazwini, S., Saeidi, A., Jayavel, A., Clark, C. C. T., Hackney, A. C., VanDusseldorp, T. A., ben Abderrahman, A., & el Hage, R. (2022). Effects of Exercise Training on Bone Health Parameters in Individuals With Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*, 12:807110. doi: 10.3389/fphys.2021.807110. PMID: 35237177; PMCID: PMC8883041.

Zhao R., Zhao M., & Xu Z. (2015). The effects of differing resistance training modes on the preservation of bone mineral density in postmenopausal women: a meta-analysis. *Osteoporos Int*, 26:1605-18.