



---

## Η Επίδραση της Κολύμβησης στην Οστική Πυκνότητα

Λέανδρος - Ιωάννης Λεβιδάς & Ελένη Σουλτανάκη  
ΤΕΦΑΑ, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

---

### Περίληψη

Η οστεοπόρωση αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα υγείας που χαρακτηρίζεται από χαμηλή οστική μάζα και αυξημένη ευθραυστότητα των οστών, κυρίως του ισχίου, της σπονδυλικής στήλης και του καρπού. Τόσο η αερόβια, όσο και η άσκηση με αντιστάσεις μπορούν να προσφέρουν μηχανικά ερεθίσματα που να προάγουν την ανάπτυξη του οστίτη ιστού, ωστόσο η προπόνηση με αντιστάσεις φαίνεται ότι οδηγεί σε μεγαλύτερη βελτίωση της υγείας των οστών. Για τη μέτρηση της οστικής πυκνότητας χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, όπως η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας, η οστική υπερηχομετρία και η εξέταση βιομηχανικών δεικτών μεταβολισμού των οστών. Η κολύμβηση δε φαίνεται να παρέχει ισχυρό οστεογενετικό ερέθισμα, ωστόσο τα αποτελέσματα των ερευνών είναι αντικρουόμενα ως προς την οστική πυκνότητα των κολυμβητών σε σχέση με άλλες ομάδες αθλητών ή φυσικά δραστήριων ατόμων. Ο τύπος και η ένταση της άσκησης στο νερό έχουν ανεξάρτητες και αθροιστικές επιδράσεις στην οστική πυκνότητα, και μπορούν να συνεκτιμηθούν για τη διαμόρφωση αθλητικών προγραμμάτων και προπονητικών παρεμβάσεων που να μεγιστοποιούν τις ευνοϊκές επιδράσεις στη σκελετική υγεία των συμμετεχόντων. Η κολύμβηση μικρών αποστάσεων σε υψηλή ένταση αποτελεί, ίσως, το πιο ενδεδειγμένο πρόγραμμα για την αύξηση ή διατήρηση της οστικής πυκνότητας ατόμων με προβλήματα υγείας στις αρθρώσεις, τους μύες και σε άλλα φορτιζόμενα από τη βαρύτητα σημεία του σώματος, όπως τη σπονδυλική στήλη. Σημαντική παράμετρο όσον αφορά στη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην κολύμβηση και την οστική πυκνότητα είναι η χρονική διάρκεια της προπονητικής παρέμβασης. Ο συνδυασμός της κολύμβησης με προγράμματα άσκησης εκτός νερού (προπόνηση με αντιστάσεις ή άλματα) θα μπορούσε να οδηγήσει τους ερευνητές σε νέες κατευθύνσεις και να αναδείξει ακόμη περισσότερο τα οφέλη της άσκησης σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας, όπως συμβαίνει στο νερό.

Λέξεις κλειδιά: *Οστική πυκνότητα, οστεοπόρωση, φυσική δραστηριότητα, κολύμβηση, μειωμένη βαρύτητα*

---

### Effects of Swimming on Bone Mineral Density

Leandros - Ioannis Levidas & Eleni Soultanaki

Department of Physical Education and Sports Sciences, University of Athens, Hellas

### Abstract

Low bone mineral density (osteoporosis) is a major health problem characterized by low bone mass and high bone fragility, mainly of the hip, spinal column and wrist. Various types of aerobic and resistance exercise may provide weight-bearing stimulus to the bones. However, resistance training seems to be more beneficial for bone health. Methods for the evaluation of bone mineral density include dual energy X-ray absorptiometry, quantitative ultrasound and measurement of bone biochemical markers. Swimming doesn't seem to provide a strong osteogenetic stimulus, though studies referring to bone mineral density of swimmers compared to other athletes or physically active persons have conflicting results. Type and intensity of exercise in water have independent and additive effects on bone mineral density and can be evaluated together in formation of sports programs and training interventions that

can maximize the positive effects on skeletal health. Short distance swimming in high intensity might be the most appropriate program for increase or maintenance of bone density in persons with health problems in joints, muscles and parts of the body that are most affected by gravity, such as the spinal cord. An important issue concerning the relationship between swimming and bone mineral density is the duration of the training intervention. The combination of swimming with other types of exercise (resistance training or jumping exercises) can lead researchers to new directions and promote the benefits of exercise in a low-gravity environment such as water.

Key words: *Bone mineral density, osteoporosis, physical activity, swimming, reduced gravity*

## Γενική Εισαγωγή

Η οστική πυκνότητα αποτελεί έναν ιατρικό όρο και εκφράζεται σε γραμμάρια ανά τετραγωνικό εκατοστό επιφάνειας του οστού. Στην κλινική ιατρική, ο όρος αυτός χρησιμοποιείται ως έμμεσος δείκτης πρόβλεψης για την οστεοπόρωση και τον κίνδυνο καταγμάτων (McKay et al., 2000). Το οστό είναι ένας ζωντανός ιστός που αποτελείται από δύο παράγοντες: 1) τη μήτρα κολλαγόνου και 2) ανόργανα συστατικά (κυρίως φωσφορικά άλατα ασβεστίου). Τα χαρακτηριστικά των παραγόντων αυτών προσδιορίζουν τις μηχανικές ιδιότητες των οστών (Ganong, 1983). Η οστική μάζα και η σκληρότητα των οστών επηρεάζουν σημαντικά την οστική δύναμη. Η σκληρότητα προσδιορίζεται κυρίως από τα ανόργανα συστατικά, ενώ η ευλυγισία (απορρόφηση ενέργειας χωρίς σπάσιμο) από τη μήτρα κολλαγόνου. Η αύξηση της οστικής πυκνότητας (bone mineral density - BMD) οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας αλλά μείωση της ευλυγισίας των οστών (Guadalupe-Grau, Fuentes, Guerra & Calbet, 2009).

Οι αθλητές που συμμετέχουν σε δραστηριότητες δύναμης και ισχύος έχουν μεγαλύτερη οστική μάζα σε σχέση με άτομα μη δραστήρια, σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Παρά το γεγονός ότι η αερόβια άσκηση συμβάλλει στη συνολική βελτίωση της υγείας, ο τύπος της μυϊκής άσκησης με αντιστάσεις φαίνεται να πληροί τις βασικές αρχές της προσαρμογής των οστών και της διατήρησης ή βελτίωσης της οστικής πυκνότητας και αρχιτεκτονικής (Suominen, 2006).

Η οστεοπόρωση αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα υγείας που χαρακτηρίζεται από χαμηλή οστική μάζα και αυξημένη ευθραυστότητα των οστών, κυρίως του ισχίου, της σπονδυλικής στήλης και του καρπού. Η πρόληψη της ασθένειας αυτής μπορεί να επιτευχθεί μέσω της φυσικής δραστηριότητας και της δια βίου άσκησης. Τόσο η αερόβια, όσο και η άσκηση με αντιστάσεις μπορούν να παρέχουν ερεθίσματα μεταφοράς βάρους στα οστά, ωστόσο η προπόνηση με αντιστάσεις φαίνεται να οδηγεί σε μεγαλύτερη βελτίωση της υγείας των οστών (Layne & Nelson, 1999). Σε άλλη έρευνα, διατυπώνονται κάποιες αρχές της προσαρμογής των οστών στο μηχανικό στρες, οι οποίες θα πρέπει να τηρούνται από γυναίκες για την πρόληψη ή θεραπεία της οστεοπενίας και της οστεοπόρωσης. Η άσκηση θα πρέπει: 1) να είναι δυναμική, όχι στατική, 2) να υπερβαίνει το κατώφλι έντασης, 3) να υπερβαίνει το κατώφλι συχνότητας εφαρμογής του ερεθίσματος, 4) να είναι σχετικά σύντομη και διακοπτόμενη και 5) να παρέχει ένα ασυνήθιστο ερέθισμα επιβάρυνσης στα οστά (Borer, 2005).

Η παρούσα έρευνα στοχεύει στη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην αθλητική συμμετοχή σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας, όπως συμβαίνει στην κολύμβηση, και την υγεία του σκελετού. Επίσης, παρατίθενται οι μέθοδοι αξιολόγησης της οστικής μάζας, της οστικής πυκνότητας και της περιεκτικότητας των οστών σε ανόργανα συστατικά και γίνεται εκτενής αναφορά σε πιθανές παρεμβάσεις που θα συνέβαλλαν στη βελτιστοποίηση της υγείας των οστών, την πρόληψη της οστεοπενίας και της οστεοπόρωσης, καθώς και την αύξηση της οστικής πυκνότητας σε άτομα νεαρής και μέσης ηλικίας.

## Σχετικές Θεωρίες

### *Μέθοδοι μέτρησης της Οστικής Πυκνότητας*

Στις περισσότερες έρευνες που έχουν εξετάσει την οστική πυκνότητα, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (dual-energy X-ray absorptiometry - DXA) (Guadalupe-Grau et al., 2009; Morel, Combe, Francisco & Bernard, 2001). Η μέθοδος αυτή, που αποτελεί εξέλιξη της απλής απορροφησιμετρίας φωτονίων (Risser et al., 1990), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της οστικής μάζας τόσο στο σύνολο του σώματος όσο και τοπικά, καθώς και για τον υπολογισμό της άλιπης μάζας του μαλακού ιστού. Κατά την εφαρμογή της DXA, ακτίνες Χ σε δύο ξεχωριστά ενεργειακά επίπεδα παραλληλίζονται και εστιάζονται στο σώμα. Η οστική πυκνότητα και η περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά, υπολογίζονται με ακρίβεια 99% και <1% λάθους και η μέθοδος κρίνεται ασφαλής για τη χρήση ρουτίνας σε αν-

θρώπους, καθώς η δόση ακτινοβολίας που σχετίζεται με την έκθεση στις ακτίνες Χ είναι χαμηλή (Lucaski, 1993).

Η μέτρηση, ωστόσο, της οστικής πυκνότητας με αυτή την τεχνική παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, όπως τη σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο που χρειάζεται για την ανίχνευση μιας, μικρής έστω, μεταβολής στις τιμές της BMD. Σε έρευνά τους οι Μαιμουν και Sultan (in press), κατηγοριοποιούν τους βιοχημικούς δείκτες μεταβολισμού των οστών, οι οποίοι εκφράζουν τις κυτταρικές δραστηριότητες της οστικής παραγωγής και απορρόφησης και έτσι αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την αξιολόγηση της επίδρασης της άσκησης στην αναδόμηση των οστών και την ανακάλυψη συγκεκριμένων μηχανισμών μέσω των οποίων επιτυγχάνονται οι προερχόμενες από την άσκηση αλλαγές στην οστική μάζα. Οι δείκτες αυτοί παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.** Βιοχημικοί δείκτες μεταβολισμού των οστών

	Συντομογραφίες	Μέτρηση
<i>Δείκτες οστικής παραγωγής</i>		
Οστεοκαλσίνη	OC	Αίμα
Ολική αλκαλική φωσφατάση	t-ALP	Αίμα
Ειδική για τα οστά αλκαλική φωσφατάση	B-ALP	Αίμα
Αμινοτελικό προπεπτιδιο προκολλαγόνου τύπου I	PINP	Αίμα
Καρβοξυτελικό προπεπτιδιο προκολλαγόνου τύπου I	PICP	Αίμα
<i>Δείκτες οστικής απορρόφησης</i>		
Πυριδινολίνη	PYD	Ούρα
Δεοξυπυριδινολίνη	DPD	Ούρα
Καρβοξυτελικό τελοπεπτιδιο του κολλαγόνου τύπου I	ICTP	Αίμα
C-τελοπεπτιδιο κολλαγόνου τύπου I	CTX	Ούρα/αίμα
N-τελοπεπτιδιο κολλαγόνου τύπου I	NTX	Ούρα/αίμα
Όξινη φωσφατάση ανθεκτική στο τρυγικό οξύ	TRAP	Αίμα

Οι δείκτες αυτοί παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι εξετάζουν την άμεση αντίδραση των οστικών κυττάρων στην άσκηση και συγκεκριμένα σε εξατομικευμένα προγράμματα που στοχεύουν στη βελτίωση της υγείας των οστών. Ωστόσο, τυπικές αντιδράσεις σε διαφορετικά είδη άσκησης είναι δύσκολο να διατυπωθούν μέχρι στιγμής, εξαιτίας πολλών παραγόντων που μπορούν να τις επηρεάσουν, όπως το φύλο, η ηλικία και η φυσική κατάσταση (Μαιμουν & Sultan, in press). Επιπλέον, οι δείκτες οστικής παραγωγής και απορρόφησης εκφράζουν μια μέση τιμή του μεταβολισμού των οστών στο σύνολο του σκελετού, κάτι που σημαίνει ότι οι μεταβολές στην οστική μάζα συγκεκριμένων σημείων δε μπορούν να αξιολογηθούν (Creighton, Morgan, Boardley & Brolinson, 2001). Όπως έχουν δείξει αρκετές έρευνες στο παρελθόν (Morel et al., 2001; Calbet, Moysi, Dorado & Rodriguez, 1998; Wittich et al., 1998) η αύξηση της οστικής μάζας είναι μεγαλύτερη στα σημεία που είναι περισσότερο έντονη η μηχανική φόρτιση. Συνεπώς, οι μεταβολές στους βιοχημικούς δείκτες μεταβολισμού των οστών δε θα μπορούσαν να συμβάλλουν στη διερεύνηση των μηχανισμών και παρεμβάσεων που συμβάλλουν στη βελτίωση της υγείας των οστών σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος. Ο Whipple et al. (2004), τέλος, αναφέρουν ότι τα δείγματα αίματος για τις αναλύσεις υπολογισμού των βιοχημικών δεικτών, θα πρέπει να συλλέγονται τουλάχιστον 24 ώρες μετά το τέλος της άσκησης. Σύμφωνα με αυτούς τους ερευνητές, το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γίνεται η συλλογή είναι κρίσιμο, καθώς θα πρέπει να αξιολογείται η οξεία επίδραση της πρόσφατης άσκησης και όχι οι υπόλοιπες επιδράσεις του προπονητικού προγράμματος.

Μια νέα μέθοδος υπολογισμού της οστικής πυκνότητας που ωστόσο δεν έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά από τους ερευνητές, είναι η οστική υπερηχομετρία (Quantitative Ultrasound - QUS). Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου αποτελούν η φορητή συσκευή, το σχετικά μικρό κόστος, καθώς και το γεγονός ότι δεν περιλαμβάνει καμία ακτινοβολία. Οι παράμετροι της QUS σχετίζονται με την οστική πυκνότητα και δομή, αλλά όχι με το πάχος φλοιού (Falk, Bronshtein, Zigel, Constantini & Eliakin, 2004). Σε έρευνα των Boussein, Coan και Lee (1999), για την αντοχή του μηριαίου οστού, αναφέρεται ότι οι παράμετροι της QUS μπορούν να προβλέψουν τον κίνδυνο κατάγματος, ανεξάρτητα από την BMD. Επίσης, διατυπώνεται η άποψη ότι η οστική υπερηχομετρία αποτελεί μια αξιόπιστη μέθοδο υπολογισμού της περιφερειακής οστικής πυκνότητας και αξιολόγησης της υγείας των οστών.

## Ανασκόπηση Σχετικών Ερευνών

### *Η επίδραση της άσκησης στην Οστική Πυκνότητα*

Γενετικοί παράγοντες όπως το φύλο, η ηλικία, ο σωματότυπος και η εθνικότητα μπορεί να επηρεάσουν τη μέγιστη οστική πυκνότητα. Ωστόσο, μεταβλητές όπως ο τρόπος ζωής και η φυσική δραστηριότητα, φαίνεται να συμβάλλουν στη μεγαλύτερη αύξηση της οστικής μάζας (Mein, Briffa, Dhaliwal & Price, 2004). Η αθλητική συμμετοχή κατά τη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής ηλικίας, συμβάλλει στη μεγαλύτερη συσσώρευση οστικής μάζας και την αύξηση της περιεκτικότητας των οστών σε ανόργανα συστατικά (Bone Mineral Content - BMC), οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη οστική πυκνότητα και πιο γερά οστά κατά την ενήλικη ζωή (Vicente-Rodriguez, 2006; Heinonen et al., 2000).

Οι ασκήσεις μεταφοράς βάρους φαίνεται να επιδρούν θετικά στην υγεία των οστών σε όλο το φάσμα ηλικιών. Φυσικές δραστηριότητες μέτριας και υψηλής έντασης (γυμναστική και αθλήματα που περιλαμβάνουν άλματα, ασκήσεις με αντιστάσεις) συμβάλλουν στην αύξηση ή διατήρηση της οστικής μάζας και περιεκτικότητας των οστών σε ανόργανα συστατικά (Guadalupe-Grau et al., 2009; Kohrt et al., 2004).

Ποδοσφαιριστές ηλικίας 20-22 ετών, βρέθηκε να έχουν αυξημένη οστική πυκνότητα και περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά, σε σχέση με συνομήλικα άτομα που αθλούσαν κατά τον ελεύθερό τους χρόνο (<3 ώρες την εβδομάδα). Στη συγκεκριμένη έρευνα που δεν περιελάμβανε προπονητική παρέμβαση, αξιολογήθηκε η BMD, η BMC και το μέγεθος των οστών με απορροφησιόμετρο ακτίνων Χ διπλής ενέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές για τις τρεις παραμέτρους στα κάτω άκρα και την πύελο των ποδοσφαιριστών σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Η επίδραση της προπόνησης στα οστά των ποδοσφαιριστών φάνηκε να είναι τοπική, καθώς σε άλλα σημεία του σώματος (χέρια, κεφάλι) δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες (Wittich et al., 1998). Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές που εξέτασαν την οστική πυκνότητα και τη σκελετική ανταπόκριση σε άτομα που συμμετείχαν σε αθλήματα ρακέτας (τένις, σκουός). Πιο συγκεκριμένα, οι Calbet et al. (1998), βρήκαν μεγαλύτερη BMD οσφυϊκής μοίρας και κεφαλής του μηριαίου για επαγγελματίες αθλητές τένις, σε σχέση με μη δραστήρια άτομα (ομάδα ελέγχου). Επίσης, στην ίδια έρευνα αναφέρθηκε σημαντικά μεγαλύτερη BMD για το κυρίαρχο χέρι των αθλητών τένις, σε σχέση με το μη κυρίαρχο χέρι. Σε άλλη έρευνα που εξετάστηκε η BMD και η BMC των άνω άκρων σε αθλήτριες σκουός και σε μη δραστήριες γυναίκες με τα ίδια χαρακτηριστικά (ηλικία, βάρος, ύψος), βρέθηκαν παρόμοια αποτελέσματα. Για όλα σχεδόν τα σημεία του χεριού που μετρήθηκε η BMD και η BMC, οι διαφορές ανάμεσα στα δύο χέρια (κυρίαρχο - μη κυρίαρχο) των αθλητριών σκουός ήταν σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές των γυναικών που συμμετείχαν στην ομάδα ελέγχου (Haapasalo et al., 1994). Οι Gruodyte, Jurimae, Saar, Maasalu και Jurimae (2009), εξέτασαν τη σχέση ανάμεσα στο ύψος αλμάτων και τη BMD σε αθλήτριες εφηβικής ηλικίας και σε μη φυσικά δραστήριες συνομήλικές τους. Οι αθλήτριες χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες: υψηλής επιβάρυνσης (αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής και ομαδικών αθλημάτων), μέτριας επιβάρυνσης (δρομείς ταχυτήτων) και χαμηλής επιβάρυνσης (κολυμβήτριες και αθλήτριες ορειβατικού σκι). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στην υψηλότερη οστική πυκνότητα που βρέθηκε για τις αθλήτριες υψηλής επιβάρυνσης και το ύψος των συνεχόμενων αλμάτων. Αντίθετα, για τις άλλες πειραματικές ομάδες και την ομάδα ελέγχου δε βρέθηκε σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις τιμές BMD και τα τεστ αλμάτων.

Σε έρευνα που χρησιμοποιήθηκε η οστική υπερηχομετρία, διαπιστώθηκε ότι η συμμετοχή σε αθλήματα υψηλής επιβάρυνσης συμβάλλει στην αύξηση της οστικής πυκνότητας και τη βελτίωση της υγείας του σκελετού. Πιο συγκεκριμένα οι Lehtonen-Veromaa, Mottonen, Nuotio, Heinonen και Viikari (2000), που εξέτασαν την οστική πυκνότητα πτέρνας σε κορίτσια ηλικίας 11-17 ετών, διαπίστωσαν ότι από τις τρεις πειραματικές ομάδες (υψηλής έντασης γυμναστικής, τρεξίματος και ομάδας ελέγχου), οι τιμές της οστικής υπερηχομετρίας ήταν σημαντικά υψηλότερες για τα κορίτσια που συμμετείχαν συστηματικά σε προγράμματα υψηλής έντασης γυμναστικής. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν οι Taaffe, Robinson, Snow και Marcus (1997) για νεαρές γυναίκες αθλήτριες γυμναστικής, σε σχέση με κολυμβήτριες, αθλήτριες δρόμων και μη δραστήριες συνομήλικές τους. Οι διαπιστώσεις των ερευνητών αφορούσαν στην οστική πυκνότητα της οσφυϊκής μοίρας και της κεφαλής του μηριαίου οστού. Στην έρευνα αυτή τονίζεται, τέλος, η ισχυρή οστεογενετική δράση των ασκήσεων μεταφοράς βάρους που συμβάλλουν στην αύξηση της οστικής μάζας και την πρόληψη ασθενειών του σκελετού.

### *Η επίδραση της κολύμβησης στην Οστική Πυκνότητα*

Η κολύμβηση δε φαίνεται να παρέχει ισχυρό οστεογενετικό ερέθισμα, ωστόσο τα αποτελέσματα των ερευνών είναι αντικρουόμενα ως προς την οστική πυκνότητα των κολυμβητών σε σχέση με άλλες ομάδες αθλητών ή φυσικά δραστήριων ατόμων (Guadalupe-Grau et al., 2009; Heinrich et al., 1990; Risser et al., 1990).

Επίσης, οι Magkos, Yannakoulia, Kanouras και Sidossis (2007), αναφέρουν ότι ο τύπος και η ένταση της άσκησης έχουν ανεξάρτητες και αθροιστικές επιδράσεις στην οστική πυκνότητα. Πιο συγκεκριμένα, σε έρευνα που διεξήγαγαν εξέτασαν την οστική πυκνότητα περιοχής (areal bone mineral density – aBMD) του σώματος, καθώς και διαφορετικών σημείων σε κολυμβητές και δρομείς που συμμετείχαν σε αγωνίσματα μεγάλων αποστάσεων (αντοχής) ή μικρών αποστάσεων (σπριντ), καθώς και σε άτομα που δεν ήταν αθλητές (ομάδα ελέγχου). Σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, οι δρομείς είχαν σημαντικά υψηλότερη aBMD ποδιού, ενώ οι κολυμβητές χαμηλότερη aBMD σώματος και ποδιού. Οι αθλητές αντοχής είχαν σημαντικά χαμηλότερη aBMD σώματος σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, ενώ οι αθλητές ταχύτητας δε διέφεραν σημαντικά από την ομάδα ελέγχου σε κανένα σημείο, αλλά είχαν σημαντικά υψηλότερη aBMD από τους αθλητές αντοχής σε όλα τα σημεία. Επίσης, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου οι κολυμβητές αντοχής είχαν σημαντικά χαμηλότερη aBMD στα πόδια και το σώμα, ενώ οι δρομείς ταχύτητας σημαντικά υψηλότερες τιμές για τα πόδια, τον κορμό και το σύνολο του σώματος. Οι κολυμβητές, τέλος, ταχύτητας και οι δρομείς αντοχής, δε διέφεραν σημαντικά ως προς την aBMD σε κανένα σημείο, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Σε έρευνα των Jacobson, Beaver, Grubb, Taft και Talmage (1984), βρέθηκε αυξημένη περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά στην κερκίδα για γυναίκες κολυμβήτριες κολεγιακού επιπέδου, σε σχέση με συνομήλικές τους που αποτελούσαν την ομάδα ελέγχου. Οι Derman, Cinemre, Kanbur, Dogan, Kilic και Karaduman (2008), εξέτασαν την επίδραση της κολύμβησης στο μεταβολισμό των οστών κατά τη διάρκεια της εφηβείας. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν ευνοϊκή επίδραση της κολύμβησης μόνο για τους άνδρες έφηβους κολυμβητές, που είχαν σημαντικά μεγαλύτερη ολική οστική πυκνότητα σε σχέση με τους συνομήλικούς τους που ανήκαν στην ομάδα ελέγχου. Αντίθετα, δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στη BMD των γυναικών και των μη φυσικά δραστήριων συνομήλικών τους. Σε άλλη, τέλος, έρευνα αναφέρθηκε αυξημένη BMD κερκίδας και οσφυϊκής μοίρας για άντρες μέσης ηλικίας που κολυμπούσαν συστηματικά, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου (Orwoll, Ferar, Oniatt & McClung, 1989).

Σε κορίτσια ηλικίας 7-9 ετών που ασχολούνταν με την κολύμβηση, βρέθηκε μειωμένη οστική πυκνότητα σώματος σε σχέση με κορίτσια που συμμετείχαν σε προγράμματα γυμναστικής (Cassell, Benedict & Specker, 1996). Έρευνες που έχουν γίνει σε νέες αθλήτριες κολύμβησης κολεγιακού επιπέδου, έχουν δείξει χαμηλή οστική πυκνότητα οσφυϊκής μοίρας, κερκίδας και πτέρνας σε σχέση με συνομήλικές τους που συμμετείχαν σε αθλήματα μεταφοράς βάρους (τένις, βόλεϊ, μπάσκετ) (Risser et al., 1990; Jacobson et al., 1984). Επίσης, η μη φυσιολογική εμμηνορροϊκή λειτουργία φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη της οστικής μάζας αθλητριών νεαρής ηλικίας (Nichols, Rauh, Barrack & Barkai, 2007).

Σε έρευνα των Velez, Zhang, Stone, Perera, Miller και Greenspan (2008), εξετάστηκε η σχέση ανάμεσα στην αθλητική συμμετοχή και τη σκελετική υγεία σε βετεράνους αθλητές. Πιο συγκεκριμένα, τα άτομα που συμμετείχαν στην έρευνα ήταν >65 ετών και χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες: δρομείς (μέτρια επιβάρυνση), κολυμβητές και μη φυσικά δραστήρια άτομα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δρομείς είχαν σημαντικά υψηλότερη ολική οστική πυκνότητα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, καθώς επίσης και υψηλότερη οστική πυκνότητα πτέρνας, ισχίου, τροχαντήρα και περιφερικού άκρου κερκίδας σε σχέση με τους κολυμβητές. Συμπερασματικά λοιπόν, η μέτριας επιβάρυνσης άσκηση εκτός νερού φαίνεται να συμβάλλει στην καλύτερη σκελετική υγεία σε άτομα >65 ετών. Η κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στο είδος της φυσικής δραστηριότητας και την BMD, είναι σημαντική για την ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτιστοποίηση και τη διατήρηση της σκελετικής δύναμης στο γυναικείο πληθυσμό και ειδικότερα στις γυναίκες που μπαίνουν στην εμμηνόπαυση. Σε έρευνα που διεξήχθη για το σκοπό αυτό, έγινε σύγκριση της οστικής πυκνότητας σε γυναίκες ηλικίας 42-50 ετών με μακροπρόθεσμο ιστορικό άθλησης, που χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες: 1) αθλήματα υψηλής επιβάρυνσης (μπάσκετ, νέτμπολ), 2) αθλήματα μέτριας επιβάρυνσης (τρέξιμο, χόκεϊ), 3) κολύμβηση (χαμηλή επιβάρυνση), και 4) ομάδα ελέγχου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ομάδες υψηλής επιβάρυνσης, μέτριας επιβάρυνσης και κολύμβησης είχαν σημαντικά μεγαλύτερη BMD χεριού σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Ωστόσο, η ομάδα υψηλής επιβάρυνσης βρέθηκε να έχει σημαντικά υψηλότερη BMD σώματος και κάτω άκρου σε σχέση με την ομάδα κολύμβησης (Dook, James, Henderson & Price, 1997).

Σε άλλη έρευνα, εξετάστηκε το κατά πόσο οι σκελετικές προσαρμογές της άσκησης μη-μεταφοράς βάρους εξαρτώνται από τον τύπο της άσκησης στο νερό (κολύμβηση ή πόλο), καθώς και από το φύλο (άνδρες ή γυναίκες). Το δείγμα αποτέλεσαν δύο πειραματικές ομάδες (κολύμβησης, πόλο) και μια ομάδα ελέγχου. Οι μετρήσεις περιελάμβαναν την οστική περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά (BMC) και την aBMD του σώματος, καθώς και διαφορετικών σημείων. Η ομάδα κολύμβησης βρέθηκε να έχει χαμηλότερη οστική πυκνότητα ποδιού και aBMD σώματος σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Αντίθετα, η ομάδα αθλητών πόλο είχε χαμηλότερη οστική πυκνότητα ποδιού, αλλά υψηλότερη aBMD χεριού και κορμού σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Όσον αφορά στη σύγκριση ανάμεσα στις δύο πειραματικές ομάδες, βρέθηκε σημαντικά υψηλότερη aBMD για τους αθλητές του πόλο στα χέρια, τον κορμό και το σύνολο του σώματος. Η επίδραση του φύλου βρέθηκε να είναι σημαντική μόνο στις συγκρίσεις ανάμεσα στην ομάδα κολύμβησης και την ομάδα ελέγχου

(Magkos et al., 2007).

Η σκελετική αντίδραση στην άσκηση εμφανίζεται να είναι σύνθετη, αλλά έχουν αναγνωρισθεί κάποιες βασικές αρχές που σχετίζονται με αυτή, όπως η υπερφόρτωση και η εξειδίκευση. Μόνο τα οστά που επιβαρύνονται άμεσα από τη φυσική δραστηριότητα θα παρουσιάσουν σημαντική αύξηση της μάζας τους. Η αντίδραση λοιπόν των οστών είναι τοπικά-συγκεκριμένη και εξαρτώμενη από το μέγεθος της επιβάρυνσης. Αυτό υποστηρίζουν ερευνητές (Kavouras et al., 2006) που εξέτασαν την οστική πυκνότητα σε αθλητές του πόλο και του χάντμπολ. Στη συγκεκριμένη έρευνα, που συμμετείχαν και μη δραστήρια άτομα (ομάδα ελέγχου), φάνηκε ξεκάθαρα η παραπάνω διατύπωση. Οι αθλητές του πόλο, όπου κινούνται σε ένα περιβάλλον υποστήριξης του σωματικού βάρους, βρέθηκε να έχουν σημαντικά μεγαλύτερη οστική πυκνότητα στα άνω άκρα και μικρότερη στα κάτω άκρα τόσο σε σχέση με τους αθλητές χάντμπολ, όσο και με την ομάδα ελέγχου. Η απουσία της επίδρασης της μεταφοράς βάρους από τα κάτω άκρα, μπορεί να αποτελεί την εξήγηση για την ανακατανομή της οστικής μάζας από τα κάτω στα άνω άκρα στους υδατοσφαιριστές.

Σε έρευνα που εξέτασε τις διαφορές ανάμεσα στη BMD και BMC πτέρνας ανάμεσα σε αθλητές αλμάτων, κολυμβητές και μη δραστήρια άτομα με κοινά ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, έγιναν κάποιες διαπιστώσεις όσον αφορά στις μεθόδους αξιολόγησης της οστικής μάζας. Πιο συγκεκριμένα με την απλή απορροφησιμετρία φωτονίων, βρέθηκε σημαντικά υψηλότερη BMD και BMC πτέρνας για τους αθλητές αλμάτων, σε σχέση με τους κολυμβητές και την ομάδα ελέγχου. Αντίθετα, με τη μέθοδο της οστικής υπερηχομετρίας, δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις ομάδες, κάτι που καταδεικνύει ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των οστών μπορεί να αξιολογούνται διαφορετικά από το DXA ή άλλες τεχνικές (Taaffe, Suominen, Ollikainen & Cheng, 2001).

#### *Μειωμένη βαρύτητα και Οστική Πυκνότητα*

Η μείωση της φυσικής δραστηριότητας και κατά συνέπεια της μηχανικής φόρτισης των οστών – κάτι που συμβαίνει στις μεγαλύτερες ηλικιακές ομάδες και σε ασθένειες που σχετίζονται με παράλυση και παρατεταμένη παραμονή στο κρεβάτι – συνδέεται με τη μείωση της οστικής μάζας και είναι πιθανό να αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα για τη σχετιζόμενη με την ηλικία οστεοπενία. Η βαρύτητα φαίνεται να αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διατήρηση της υγείας των οστών, και για το λόγο αυτό η παραμονή στο διάστημα θεωρείται σαν το απόλυτο μοντέλο για την εξέταση του ρόλου της βαρύτητας στον ανθρώπινο σκελετό. Η μειωμένη μηχανική χρήση εξαιτίας της αδυναμίας (μειωμένες δυνάμεις) και της υποκινησίας (λιγότερες κινήσεις), θεωρείται να είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο προκαλείται απώλεια οστικής μάζας στο διάστημα (Vico et al., 2000).

Το περιβάλλον μειωμένης βαρύτητας στο διάστημα, έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τις συνθήκες που επικρατούν στο νερό. Οι αστροναύτες, όπως οι κολυμβητές, κινούνται σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας με μικρή επίδραση στη δομή των οστών. Οι δυνάμεις που μεταφέρονται από το μυϊκό σύστημα στα οστά είναι σχετικά μικρές και αυτό μπορεί να εξηγήσει τη μειωμένη οστεογενετική επίδραση της άσκησης τόσο στο διάστημα, όσο και στο νερό (Hawkey, 2003). Οι βαρυντικές δυνάμεις προκαλούν παθητική μηχανική αντίδραση του σκελετικού συστήματος. Η αντίδραση αυτή συμβάλλει στην ανάπτυξη και διατήρηση της οστικής μάζας και η μείωση των βαρυντικών δυνάμεων μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στη BMD των κολυμβητών και των αστροναυτών (Morel et al., 2001; Taaffe et al., 1995).

Σε έρευνα που εξέτασε το κατά πόσο η παραμονή στο διάστημα σχετίζεται με τη μείωση της οστικής μάζας των κοσμοναυτών (χρονικό διάστημα παραμονής > 1 μηνός), διαπιστώθηκε πως η BMD της κερκίδας δε μεταβλήθηκε σημαντικά σε κανένα άτομο του δείγματος. Αντίθετα, στην κνήμη των κοσμοναυτών, που η επίδραση της βαρύτητας στις καθημερινές κινήσεις είναι μεγαλύτερη, βρέθηκε σημαντικά χαμηλότερη BMD για όλα τα άτομα που συμμετείχαν στην έρευνα. Επιπλέον, η επανεξέταση της οστικής πυκνότητας μετά το πέρας του ταξιδιού και σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από τη διάρκεια της παραμονής στο διάστημα, έδειξε πως ο ρυθμός αποκατάστασης της BMD είναι μικρότερος από το ρυθμό απώλειάς της στο διάστημα. Απαραίτητη, τέλος, κρίνεται από τους ερευνητές η διαμόρφωση στρατηγικών πρόληψης και θεραπείας για τη διατήρηση της καλής υγείας των οστών σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας (Vico et al., 2000). Σε άλλη έρευνα σχετικά με την αξιολόγηση της υγείας των οστών σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας, αναφέρεται ότι η μείωση της οστικής πυκνότητας μπορεί να οφείλεται στη μείωση των οστεοβλαστικών δεικτών σχηματισμού των οστών, όπως τα μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα hMSCs (human mesenchymal stem cells). Αυτό καταδεικνύει την πολυπλοκότητα των μηχανισμών που μπορεί να επηρεάζουν την BMD κατά τη διάρκεια παραμονής σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας, όπως συμβαίνει στο διάστημα (Meyers, Zayzafoon, Douglas & McDonald, 2005).

## Σχόλια και Συζήτηση

Η σχέση ανάμεσα στη φυσική δραστηριότητα, την αθλητική συμμετοχή και την άσκηση σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας όπως συμβαίνει στην κολύμβηση, και τις σκελετικές επιδράσεις στους συμμετέχοντες, εμφανίζεται να είναι σύνθετη και να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να αναφέρονται στα χαρακτηριστικά της άσκησης, όπως το είδος, η διάρκεια, η συχνότητα και τα χρόνια της αθλητικής συμμετοχής. Το φύλο, η ηλικία, ο σωματότυπος και η εθνικότητα μπορεί να επηρεάσουν τη μέγιστη οστική πυκνότητα και θα πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε υπόψη σε μελλοντικές έρευνες σχετικά με την υγεία του σκελετού.

Η απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας αποτελεί την, έως τώρα, πιο διαδεδομένη μέθοδο αξιολόγησης της οστικής πυκνότητας και περιεκτικότητας των οστών σε ανόργανα συστατικά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται τόσο για ιατρικούς σκοπούς, όσο και για συναφείς έρευνες της αθλητικής επιστήμης (Guadalupe-Grau et al., 2009). Η σχετικά εύκολη χρήση και η χαμηλή δόση ακτινοβολίας κατά την έκθεση των εξεταζόμενων στις ακτίνες Χ συγκαταλέγονται στα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου. Μια σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση πιθανών αλλαγών στην οστική πυκνότητα σε έρευνες που χρησιμοποιούν παρεμβατικά προγράμματα προπόνησης, είναι ο χρόνος (Maimoun & Sultan, in press). Η παράμετρος αυτή αποτελεί μειονέκτημα της DXA, καθώς χρειάζεται μια σχετικά μεγάλη χρονική περίοδος για την ανίχνευση μιας, μικρής έστω, μεταβολής στις τιμές της BMD. Αντίθετα, η εξέταση των βιοχημικών δεικτών μεταβολισμού των οστών, με εξετάσεις αίματος ή ούρων, μπορεί να συμβάλλει στην αξιολόγηση άμεσων αλλαγών σχετικά με την ανταπόκριση των οστών σε προπονητικές ή άλλες παρεμβάσεις, στο σύνολο όμως του σκελετού και όχι σε συγκεκριμένα σημεία. Πρόσφατη μέθοδος αξιολόγησης της οστικής μάζας αποτελεί η οστική υπερηχομετρία, που σε συνδυασμό με τις παραπάνω μεθόδους μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για τη διεξαγωγή πιο εμπεριστατωμένων συμπερασμάτων σχετικά με την οστική μάζα και την υγεία των οστών.

Σχετικά με τις επιδράσεις της άσκησης στο σκελετό, φαίνεται να ισχύουν κάποιες γενικές αρχές για την αύξηση της οστικής μάζας. Οι δυναμικές ασκήσεις, οι φυσικές δραστηριότητες μεταφοράς βάρους και το ξεκίνημα της αθλητικής συμμετοχής πριν από την εφηβεία αποτελούν σημαντικές παραμέτρους που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους ερευνητές που εξετάζουν τη σχέση ανάμεσα στην αθλητική συμμετοχή και την υγεία του σκελετού. Επίσης, οι επιδράσεις της άσκησης φαίνεται να περιορίζονται στα οστά που φορτίζονται περισσότερο και να χρειάζεται έτσι, σε πολλές περιπτώσεις, μια τροποποίηση ή συμπλήρωση των προπονητικών παρεμβάσεων για πιο ευνοϊκά αποτελέσματα όσον αφορά στην ανταπόκριση των οστών και την αύξηση της οστικής πυκνότητας. Προς αυτή την κατεύθυνση θα βοηθούσαν η συστηματική και εξειδικευμένη άσκηση με αντιστάσεις, ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων προπονητικών παρεμβάσεων και ο συνυπολογισμός παραμέτρων όπως η ηλικία, το φύλο και πιθανά προβλήματα υγείας. Η άσκηση σε συνθήκες μειωμένης βαρύτητας, όπως συμβαίνει στην κολύμβηση, φαίνεται να πληροί κάποιες από τις παραπάνω αρχές, χωρίς ωστόσο να παρέχει σημαντικό οστεογενετικό ερέθισμα.

## Πρακτικές Εφαρμογές και Προτάσεις

Ο τύπος και κυρίως η ένταση της άσκησης στο νερό έχουν ανεξάρτητες και αθροιστικές επιδράσεις στην οστική πυκνότητα, και μπορούν να συνεκτιμηθούν για τη διαμόρφωση αθλητικών προγραμμάτων και προπονητικών παρεμβάσεων που να μεγιστοποιούν τις ευνοϊκές επιδράσεις στη σκελετική υγεία των συμμετεχόντων. Η κολύμβηση μικρών αποστάσεων σε υψηλή ένταση αποτελεί, ίσως, το πιο ενδεδειγμένο πρόγραμμα για την αύξηση ή διατήρηση της οστικής πυκνότητας ατόμων στα οποία αντενδεικνύεται η άσκηση εκτός νερού λόγω προβλημάτων υγείας στις αρθρώσεις, τους μύες και σε άλλα, φορτιζόμενα από τη βαρύτητα σημεία του σώματος όπως τη σπονδυλική στήλη. Σημαντική παράμετρος όσον αφορά στη διεξαγωγή ερευνών που να στοχεύουν στη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην κολύμβηση και την οστική πυκνότητα είναι η χρονική διάρκεια της προπονητικής παρέμβασης ή της συστηματικής αξιολόγησης των εξεταζόμενων ατόμων.

Συνυπολογίζοντας όλες τις παραπάνω διαπιστώσεις, η άσκηση σε περιβάλλον μειωμένης βαρύτητας αποτελεί ένα ερευνητικό πεδίο με πρόσφορο έδαφος για νέες έρευνες που θα μπορούσαν να δώσουν διαφορετική προοπτική όσον αφορά στην ανταπόκριση των οστών στην κολύμβηση και την αξιολόγηση της σκελετικής υγείας των συμμετεχόντων σε παρόμοια προγράμματα άσκησης. Ο συνδυασμός των προπονητικών παρεμβάσεων, καθώς και των μεθόδων αξιολόγησης της οστικής μάζας, θα συνέβαλλε στην εξαγωγή περισσότερο ασφαλών και εμπεριστατωμένων συμπερασμάτων σχετικά με την κολύμβηση και την άσκηση στο νερό.

## Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Η απουσία διαχρονικών ερευνών αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα για την εξαγωγή περισσότερο εμπειροτατωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τη σκελετική υγεία και την άσκηση στο νερό. Επίσης, ο κατάλληλος σχεδιασμός και συνδυασμός της κολύμβησης με προγράμματα άσκησης εκτός νερού (προπόνηση με αντιστάσεις ή άλματα), θα μπορούσε να οδηγήσει τους ερευνητές σε νέες κατευθύνσεις και να αναδείξει ακόμα περισσότερο τα οφέλη της κολύμβησης, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει για άτομα με μυοσκελετικά προβλήματα υγείας.

### Σημασία για την Ποιότητα Ζωής

Η ποιότητα ζωής των ατόμων μέσης και τρίτης ηλικίας συνδέεται άμεσα με την καλή σκελετική υγεία, τη δυνατότητα εκτέλεσης όλων των καθημερινών κινήσεων και δραστηριοτήτων και το μειωμένο κίνδυνο οστεοπορωτικών καταγμάτων. Η φυσική δραστηριότητα και η δια βίου άσκηση μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της υγείας των οστών και την πρόληψη ή θεραπεία της οστεοπενίας και της οστεοπόρωσης. Τα προγράμματα άσκησης που στοχεύουν στην αύξηση ή διατήρηση της οστικής μάζας θα πρέπει να περιλαμβάνουν δυναμικές ασκήσεις, φυσικές δραστηριότητες μεταφοράς βάρους και εξατομικευμένα προγράμματα κολύμβησης ή άσκησης στο νερό. Ειδικότερα το περιβάλλον μειωμένης βαρύτητας στο νερό, φαίνεται να είναι ιδανικό για άτομα με παθήσεις του μυοσκελετικού συστήματος.

### Επίλογος

Η παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο για τους καθηγητές φυσικής αγωγής, όσο και για τους εργαζόμενους στον ευρύτερο τομέα της υγείας, προκειμένου να δώσουν τις κατάλληλες συμβουλές σε άτομα όλων των ηλικιών για να βελτιώσουν το βιοτικό τους επίπεδο και να ενεργήσουν στην κατεύθυνση της πρόληψης των παθήσεων του μυοσκελετικού συστήματος. Ο απλός αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει τη σημαντικότητα της δια βίου άσκησης και να κατανοήσει τις βασικές αρχές που διέπουν τα προγράμματα άσκησης που στοχεύουν στη βελτίωση της οστικής πυκνότητας.

### Βιβλιογραφία

- Borer, K.T. (2005). Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women: interaction of mechanical, hormonal and dietary factors. *Sports Medicine*, 35(9), 779-830.
- Bouxsein, M.L., Coan, B.S., & Lee, S.C. (1999). Prediction of the Strength of the Elderly Proximal Femur by Bone Mineral Density and Quantitative Ultrasound Measurements of the Heel and Tibia. *Bone*, 25(1), 49-54.
- Calbet, J.A.L., Moysi, J.S., Dorado, C., & Rodriguez, L.P. (1998). Bone Mineral Content and Density in Professional Tennis Players. *Calcified Tissue International*, 62, 491-496.
- Cassell, C., Benedict, M., & Specker, B. (1996). Bone mineral density in elite 7- to 9-yr-old female gymnasts and swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(10), 1243-1246.
- Creighton, D.L., Morgan, A.L., Boardley, D., & Brolinson, P.G. (2001). Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *Journal of Applied Physiology*, 90, 565-570.
- Derman, O., Cinemre, A., Kanbur, N., Dogan, M., Kikic, M., & Karaduman, E. (2008). Effect of swimming on bone metabolism in adolescents. *The Turkish Journal of Pediatrics*, 50, 149-154.
- Dook, J.E., James, C., Henderson, N.K., & Price, R.I. (1997). Exercise and bone mineral density in mature female athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(3), 291-296.
- Falk, B., Bronshtein, Z., Zigel, L., Constantini, N., & Eliakim, A. (2004). Higher tibial quantitative ultrasound in young female swimmers. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 461-465.
- Ganong, W.F. (1983). *Review of Medical Physiology*. California: Lange Medical Publications.
- Gruodyte, R., Jurimae, J., Saar, M., Maasalu, M., & Jurimae, T. (2009). Relationships between areal bone mineral density and jumping height in pubertal girls with different physical activity patterns. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(4), 474-479.
- Guadalupe-Grau, A., Fuentes, T., Guerra, B., & Calbet, A.L. (2009). Exercise and Bone Mass in Adults. *Sports Medicine*, 39(6), 439-468.
- Haapasalo, H., Kannus, P., Sievanen, H., Heinonen, A., Oja, P., & Vuori, I. (1994). Long-Term Unilateral Loading and Bone Mineral Density and Content in Female Squash Players. *Calcified Tissue International*,



54, 249-255.

- Hawkey, A. (2003). The importance of exercising in space. *Interdisciplinary Science Reviews*, 28(2), 130-138.
- Heinonen, A., Sievanen, H., Kannus, P., Oja, P., Pasanen, M. & Vuori, I. (2000). High-impact exercise and bones of growing girls: a 9-month controlled trial. *Osteoporosis International*, 11(12), 1010-1017.
- Heinrich, C.H., Going, S.B., Pamentor, R.W., Perry, C.D., Boyden, T.W., & Lohman, T.G. (1990). Bone mineral content of cyclically menstruating female resistance and endurance trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 558-563.
- Jacobson, P.C., Beaver, W., Grubb, S.A., Taft, T.N., & Talmage, R.V. (1984). Bone Density in Women: College Athletes and Older Athletic Women. *Journal of Orthopaedic Research*, 2, 328-332.
- Kavouras, S.A., Magkos, F., Yannakoulia, M., Perraki, M., Karipidou, M., & Sidossis, L.S. (2006). Water polo is associated with an apparent redistribution of bone mass and density from the lower to the upper limbs. *European Journal of Applied Physiology*, 97, 316-321.
- Layne, J.E., & Nelson, M.E. (1999). The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 25-30.
- Lehtonen-Veromaa, M., Mottonen, T., Nuotio, I., Heinonen, O.J., & Viikari, J. (2000). Influence of physical activity on ultrasound and dual-energy X-ray absorptiometry bone measurements in peripubertal girls: a cross-sectional study. *Calcified Tissue International*, 66(4), 248-254.
- Loucaski, H.C. (1993). Soft tissue composition and bone mineral status: evaluation by dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of Nutrition*, 123(2), 438-443.
- Magkos, F., Kavouras, S.A., Yannakoulia, M., Karipidou, M., Sidossi, S., & Sidossis, L.S. (2007). The Bone Response to Non-Weight-Bearing Exercise Is Sport-, Site-, and Sex-Specific. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(2), 123-128.
- Magkos, F., Yannakoulia, M., Kavouras, S.A., & Sidossis, L.S. (2007). The Type and Intensity of Exercise Have Independent and Additive Effects on Bone Mineral Density. *International Journal of Sports Medicine*, 28(9), 773-779.
- Maimoun, L., & Sultan, C. (2011). Effects of physical activity on bone remodeling. *Metabolism Clinical and Experimental*, 60(3), 373-388.
- McKay, H.A., Petit, M.A., Schutz, R.W., Prior, J.C., Barr, S.I., & Khan, K.M. (2000). Augmented trochanteric bone mineral density after modified physical education classes: A randomized school-based exercise intervention study in prepubescent and early pubescent children. *Journal of Pediatrics*, 136(2), 156-162.
- Mein, A.L., Briffa, N.K., Dhaliwal, S.S & Price, R.I. (2004). Lifestyle influences on 9-year changes in BMD in young women. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(7), 1092-1098.
- Meyers, V.E., Zayzafoon, M., Douglas, J.T., & McDonald, J.M. (2005). RhoA and Cytoskeletal Disruption Mediate Reduced Osteoblastogenesis and Enhanced Adipogenesis of Human Mesenchymal Stem Cells in Modeled Microgravity. *Journal of Bone and Mineral Research*, 20, 1858-1866.
- Morel, J., Combe, B., Francisco, J., & Bernard, J. (2001). Bone Mineral Density of 704 Amateur Sportsmen Involved in Different Physical Activities. *Osteoporosis International*, 12, 152-157.
- Nichols, J.F., Rauh, M.J., Barrack, M.T., & Barkai, H. (2007). Bone mineral density in female high school athletes: Interactions of menstrual function and type of mechanical loading. *Bone*, 41, 371-377.
- Orwoll, E.S., Ferar, J., Oviatt, S.K., McClung, M.R., & Huntington, K. (1989). The Relationship of Swimming Exercise to Bone Mass in Men and Women. *Archives of Internal Medicine*, 149(10), 2197-2200.
- Risser, W.L., Lee, E.J., Leblanc, A., Poindexter, H.B.W., Risser, J.M.H., & Schneider, V. (1990). Bone density in eumenorrheic female college athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 570-574.
- Suominen, H. (2006). Muscle training for bone strength. *Aging Clinical and Experimental Research*, 18(2), 85-93.
- Taaffe, D.R., Suominen, H., Ollikainen, S., & Cheng, S. (2001). Calcaneal bone mineral and ultrasound attenuation in male athletes exposed to weight-bearing and nonweight-bearing activity. A cross-sectional report. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 243-249.
- 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.
- Taaffe, D.R., Snow-Harter, C., Connolly, D.A., Robinson, T.L., Brown, M.D., & Marcus, R. (1995). Differential Effects of Swimming versus Weight-Bearing Activity on Bone Mineral Status of Eumenorrheic Athletes. *Journal of Bone and Mineral Research*, 10(4), 586-593.
- Velez, N.F., Zhang, A., Stone, B., Perera, S., Miller, M., & Greenspan, S.L. (2008). The effect of moderate impact exercise on skeletal integrity in master athletes. *Osteoporosis International*, 19(10), 1457-1464.
- Vicente-Rodriguez, G. (2006). How does exercise affect bone development during growth? *Sports Medicine*, 36(7), 561-569.
- Vico, L., Collet, P., Guignandon, A., Lafage-Proust, M.H., Thomas, T., Rehalia, M., & Alexandre, C. (2000).

Effects of long-term microgravity exposure on cancellous and cortical weight-bearing bones of cosmonauts. *Lancet*, 355, 1607-1611.

Whipple, T.J., Le, B.H., Demers, L.M., Chinchilli, V.M., Petit, M.A., Sharkey, N., & Williams, N.I. (2004).

Acute Effects of Moderate Intensity Resistance Exercise on Bone Cell Activity. *International Journal of Sports Medicine*, 25(7), 496-501.

Wittich, A., Mautalen, C.A., Oliverly, 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. *Calcified Tissue International*, 63, 112-117.