

Επίδραση της Φυσικής Δραστηριότητας/Άσκησης στον Οστικό Μεταβολισμό σε Παιδιά και Εφήβους

Γαλανόπουλος Νικόλαος¹,
Καλυβιώτης Μάριος²

1. τ. Συντονιστής Διευθυντής
Ρευματολογίας, Εθνικό Σύστημα
Υγείας
2. Φυσικοθεραπευτής, MSc, Υποψ.
Διδάκτορας, Εθνικό Κέντρο
Αποκατάστασης

Υποβλήθηκε: 27 Αυγούστου 2025 /
Αναθεωρήθηκε: 12 Σεπτεμβρίου 2025 /
Εγκρίθηκε: 14 Σεπτεμβρίου 2025

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός: Σκοπός: Η παρούσα ανασκόπηση εξετάζει την επίδραση της φυσικής δραστηριότητας/άσκησης στην οστική μάζα/πυκνότητα [Bone Mineral Density (BMD), Bone Mineral Content (BMC)], το μέγεθος των οστών και τον κίνδυνο καταγμάτων σε παιδιά και εφήβους αμφοτέρων των φύλων.

Υλικό και Μέθοδος: Πρόκειται για αφηγηματική (μη συστηματική) ανασκόπηση. Πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στη βάση δεδομένων PubMed έως τον Αύγουστο του 2025. Συμπεριλήφθηκαν μελέτες που αξιολογούν την επίδραση προγραμμάτων φυσικής άσκησης στην οστική μάζα/πυκνότητα, το μέγεθος των οστών και τον κίνδυνο καταγμάτων κατά την παιδική, εφηβική και ενήλικη ζωή.

Αποτελέσματα: Οι περισσότερες δημοσιεύσεις ανέφεραν σημαντική αύξηση της BMD, της BMC και του μεγέθους των οστών σε παιδιά και εφήβους που συμμετείχαν σε προγράμματα φυσικής άσκησης συγκριτικά με ομάδες ελέγχου, με τα συγκεντρωτικά δεδομένα να υποδεικνύουν ότι η επίδραση είναι εντονότερη πριν από την έναρξη της εφηβείας. Επιπλέον, παρατηρήθηκε συσχέτιση της συστηματικής φυσικής άσκησης στην παιδική και εφηβική ηλικία με μείωση του κινδύνου καταγμάτων τόσο στις ίδιες ηλικιακές περιόδους όσο και αργότερα στην ενήλικη ζωή. Αναφέρθηκε παροδική αύξηση του κινδύνου καταγμάτων κατά το πρώτο έτος της παρέμβασης, ενώ ορισμένες μελέτες δεν διαπίστωσαν καμία επίδραση στην επίπτωση καταγμάτων.

Επικοινωνία: Μ. Καλυβιώτης, Email: mkalyv@yahoo.gr,
Τηλ.: +30 6972296389

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα ανασκόπηση διερευνά την επίδραση της φυσικής δραστηριότητας και της άσκησης στον οστικό μεταβολισμό και στον κίνδυνο καταγμάτων σε παιδιά και εφήβους. Ειδικότερα, εστιάζει στις μεταβολές της οστικής μάζας και πυκνότητας [Bone Mineral Density (BMD), Bone Mineral Content (BMC)], στο μέγεθος των οστών καθώς και στον κίνδυνο καταγμάτων κατά την παιδική και εφηβική ηλικία αλλά και μεταγενέστερα στην ενήλικη ζωή. Η ανάλυση βασίζεται σε δεδομένα που ανακτήθηκαν από τη βάση PubMed έως τον Αύγουστο του 2025 και περιλαμβάνει μελέτες που εξετάζουν την επίδραση της φυσικής άσκησης σε παιδιά και εφήβους αμφοτέρων των φύλων, πριν και μετά την έναρξη της εφηβείας.

Επίδραση της φυσικής δραστηριότητας/ άσκησης στον οστικό μεταβολισμό

Η άσκηση επιδρά στη λειτουργία των οστεοκυττάρων, οστεοβλαστικής και οστεοκλαστικής σειράς που ρυθμίζουν τη διαδικασία δόμησης/αναδόμησης [modelling/remodelling, δηλαδή στη διαδικασία της οστικής εναλλαγής (bone turnover)] (1,2). Επιδρά ευνοϊκά στη σύνθεση κολλαγόνου καθώς και στον πολλαπλασιασμό των οστεοβλαστών (υπεύθυνων για την παραγωγή οστού) επιδρώντας ευνοϊκά στην αύξηση της οστικής μάζας/πυκνότητας σε συνδυασμό με αύξηση του μεγέθους των οστών και τη μείωση του κινδύνου καταγμάτων (2). Από την άλλη η χαμηλή ή η απουσία φυσικής δραστηριότητας/άσκησης σχετίζεται με ενίσχυση της λειτουργίας των οστεοκλαστών

(υπεύθυνων για λύση/απορρόφηση οστού) και αναστολή της οστεοβλαστικής διαδικασίας (4) με αποτέλεσμα την απώλεια οστικής μάζας με αύξηση του κινδύνου καταγμάτων. Επιγραμματικά η φυσική άσκηση επιδρά:

Στα επίπεδα της βιταμίνης D με αύξηση της σύνθεσης του ενεργού της μεταβολίτη 1,25 (OH)₂ D. Η εφαρμογή προγραμματίων ασκήσεων αντίστασης οδηγεί σε σημαντική αύξηση των επιπέδων 25 (OH) D ορού (όχι ωστόσο σε όλες τις μελέτες), αυξάνοντας την έκφραση του ενζύμου 1-α-υδροξυλάσης που καταλύει τη μετατροπή της 25 (OH) D ορού σε ενεργό μεταβολίτη 1,25 (OH)₂ D της βιταμίνης D καθώς και τον αριθμό των υποδοχέων της βιταμίνης D στους ιστούς, μεταξύ των οποίων και στον οστίτη ιστό (3). Ανάγκη ωστόσο να επισημανθεί η διαπίστωση ότι οι αθλητές πολλών αθλημάτων (δρομείς, άρσης βαρών, χορού, taekwondo, ποδοσφαίρου, χόκεϊ, κ.ά.) έχουν συγκριτικά με άτομα ίδιου φύλου, χρώματος δέρματος, ηλικίας, κ.ά., χαμηλά επίπεδα βιταμίνης D (με έλλειψη ή ανεπάρκειά της) που σχετίστηκε με μη-επαρκή έκθεση του δέρματός τους στον ήλιο, σε μη-κατάλληλη διατροφή, κ.ά. (4,5).

Στην έκκριση της παραθορμόνης με αύξησή της. Αναφέρθηκε ότι μετά έντονης έντασης για μακρύ χρονικό διάστημα άσκηση παρατηρήθηκε αύξηση της έκκρισης παραθορμόνης η οποία με τη σειρά της συσχετίστηκε με αναβολική επίδραση στα οστά. Αυτό σχετίζεται με έντονη έκφραση του ενζύμου 1-α-υδροξυλάσης που καταλύει τη μετατροπή της 25 (OH) D ορού σε ενεργό μεταβολίτη 1,25 (OH)₂ D της βιταμίνης D που συμμετέχει στην οστική παραγωγή, σε συνδυασμό με την επίδρασή της μέσω των υποδοχέων-1 [parathyroid hormone 1 receptor (PTH1R)] της στους οστεοβλάστες που ενισχύει τη δραστηριότητά τους οδηγώντας συνολικά σε αύξηση της οστικής παραγωγής (6). Από την άλλη, αναφέρθηκε ότι οι ασκήσεις συσχετίστηκαν με αύξηση του ρυθμού παραγωγής σε συνδυασμό με μείωση της λύσης/απορρόφησης οστού (με ενίσχυση της δραστηριότητας των οστεοβλαστών σε συνδυασμό με μείωση της δραστηριότητας των οστεοκλαστών) παρά τη σημαντική μείωση των επιπέδων της παραθορμόνης ορού (7).

Στην έκκριση φλεγμογόνων κυτταροκινών που προάγουν τη φλεγμονή και ενισχύουν την οστεό-

λυση [όπως της ιντερλευκίνης-1, 6, κ.ά. καθώς και του παράγοντα νέκρωσης των όγκων (TNF-α/Tumor Necrosis Factor-α)], έχοντας ανασταλτική στην έκκριση αυτήν επίδραση, προφυλάσσοντας έτσι από την απώλεια οστικής μάζας (2).

Στο σύστημα RANKL (receptor-activator of nuclear factor κB ligand)/RANK (receptor-activator of nuclear factor κB)/OPG (osteoprotegerin) με μείωση των επιπέδων RANKL σε συνδυασμό με αύξηση των επιπέδων οστεοπροτεγερίνης ελαττώνοντας τη διαδικασία οστεόλυσης (με μείωση του ρυθμού της διαφοροποίησης προγονικών σε ώριμους οστεοκλάστες σε συνδυασμό με μείωση της λειτουργίας τους) και την απώλεια έτσι οστικής μάζας (1).

Στον άξονα υποθάλαμος-υπόφυση-επινεφρίδια καθώς και του άξονα υποθάλαμος-υπόφυση-γονάδες με ενίσχυση της έκκρισης ορμονών που επιδρούν ευνοϊκά στη διαφοροποίηση προγονικών οστεοβλαστών σε ώριμους οστεοβλάστες με αύξηση του ρυθμού οστικής παραγωγής (2).

Στην έκφραση μυοκινών (παράγονται από τις ίνες των σκελετικών μυών κατά τη συστολή τους) που έχουν επίδραση στα οστά, με την άσκηση να σχετίζεται με αύξηση (μείωση της μυοστατίνης, αύξηση της ιρισίνης, της απελίνης-13, της ιντερλευκίνης-6, του ινσουλινοειδούς αυξητικού παράγοντα (IGF-1)), αλλά και με μείωση (όπως με αύξηση της έκκρισης ιντερλευκίνης-15) της οστικής μάζας (8-17).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι φυσικές δραστηριότητες και ασκήσεις (αερόβιες και αναερόβιες) επιδρούν ανασταλτικά στη λύση/απορρόφηση (οστεόλυσης, με αναστολή της διαφοροποίησης των προγονικών σε ώριμους οστεοκλάστες σε συνδυασμό με ανασταλτική επίδραση της λειτουργίας τους) και ενισχυτικά στην παραγωγή (με ενίσχυση της λειτουργίας και επιβίωσης των οστεοβλαστών) οστού (οστικής μάζας). Από την άλλη η χαμηλή ή η απουσία φυσικής δραστηριότητας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των μηχανικών φορτίσεων στα οστά που σχετίζεται με ενίσχυση της οστεοκλαστικής και αναστολή της οστεοβλαστικής διαδικασίας, που οδηγούν σε μείωση της οστικής μάζας.

Από αριθμό δημοσιεύσεων (ανασκοπήσεων, μετα-αναλύσεων και μελετών) αναφέρθηκε μεγαλύτερη αύξηση της οστικής μάζας/πυκνότητας

[Bone Mineral Density (BMD), Bone Mineral Content (BMC)] και του μεγέθους των οστών σε παιδιά και εφήβους αμφοτέρων των φύλων, πριν ή μετά την έναρξη της εφηβείας που υποβλήθηκαν σε εκπαίδευση σχετικά με τη φυσική άσκηση ή με την εφαρμογή προγραμμάτων φυσικής άσκησης συγκριτικά με τις ομάδες ελέγχου, χωρίς την αναφορά ανεπιθύμητων εκδηλώσεων από τα προγράμματα αυτά (18-35). Δεν είναι όμως όλα τα ευρήματα σύμφωνα: σε μία προοπτική μελέτη η έντονη φυσική δραστηριότητα συσχετίστηκε με αύξηση του κινδύνου καταγμάτων ανεξάρτητα από την οστική μάζα (27). Η αύξηση της οστικής πυκνότητας εκτιμήθηκε κυρίως με τη χρήση διπλής ενέργειας ακτίνων X απορροφησιμετρίας (DXA, dual-energy x-ray absorptiometry), ολοσωματικά, στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης (O2-O4), στο ισχίο (κυρίως στον αυχένα του μηριαίου οστού) και σε άλλα οστά, όπως το αντιβράχιο και η κνήμη. Συχνά η αύξηση της οστικής πυκνότητας συνδυάστηκε με την αύξηση του μεγέθους των οστών.

Επίδραση της φυσικής δραστηριότητας/ άσκησης στην οστική μάζα/πυκνότητα και το μέγεθος των οστών

Οι Bonny Specker και συν. (2015) στη βιβλιογραφική τους ανασκόπηση και μετα-ανάλυση (σε 22 μελέτες με συμμετοχή παιδιών και εφήβων ηλικίας 3-18 ετών, με επιμέρους δείγματα 16-410 παιδιών) σχετικά με την επίδραση της φυσικής άσκησης (με διάρκεια εφαρμογής της 3-36 μήνες) διαπίστωσαν μεγαλύτερη αύξηση του οστικού μεταλλικού περιεχομένου (BMC) και της aBMD, χωρίς διαφορά στο bone area, στα παιδιά/εφήβους σε άσκηση συγκριτικά με τις ομάδες μαρτύρων. Οι μέσες διαφορές στην επι τοις εκατό μεταβολή της BMC ήταν 1,7% στην ΟΜΣΣ (95% CI 0,4-3,1· $p = 0,01$), 1,5% στον αυχένα του μηριαίου (95% CI 0,5-2,5· $p = 0,003$) και 0,8% ολοσωματικά (95% CI 0,3-1,3· $p = 0,003$). Οι αντίστοιχες διαφορές για την aBMD ήταν 1,2% στην ΟΜΣΣ (95% CI 0,6-1,8) και 0,6% στον αυχένα του μηριαίου (95% CI 0,2-1,1· $p = 0,006$). Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι η άσκηση απέδωσε 0,6%-1,7% μεγαλύτερη ετήσια οστική πρόσληψη, κυρίως σε παιδιά πριν την έναρξη της εφηβείας, και ότι η ετερογένεια μειώθηκε όταν συμπεριλήφθηκαν ως συμμεταβλητές η πρόσληψη ασβεστίου

και η διάρκεια της παρέμβασης (20).

Οι Bjarne Löfgren και συν. (2011) μελέτησαν 446 αγόρια και 362 κορίτσια ηλικίας 7-9 ετών που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα εκπαίδευσης σχετικά με τη φυσική άσκηση, για 40 λεπτά την ημέρα για 3 χρόνια που συνέκριναν με 807 αγόρια και 780 κορίτσια παρόμοιας ηλικίας (ομάδα ελέγχου) (που για 60 λεπτά την εβδομάδα παρακολουθούσαν το τυπικό στη Σουηδία πρόγραμμα). Στην πρώτη ομάδα σε 76 αγόρια και 48 κορίτσια και στη δεύτερη ομάδα σε 55 αγόρια και 44 κορίτσια έγινε μέτρηση της οστικής τους πυκνότητας στην ΟΜΣΣ και το ισχίο με τη χρήση DXA. Παρακολούθησαν όλα τα παιδιά προοπτικά για 36 μήνες. Δε διαπιστώθηκε συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου σημαντική διαφορά σχετικά με τη συχνότητα καταγμάτων [με μέση τιμή rate ratio (RR) = 1,08 (95% CI: 0,71-1,62)] καθώς και τη μέτρηση της οστικής πυκνότητας. Ωστόσο η μέση αύξηση ετησίως ήταν υψηλότερη κατά 0,9 SD στα κορίτσια και 0,8 SD στα αγόρια (σε αμφότερα $p < 0,001$) στην ΟΜΣΣ συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (21).

Οι Kerry J MacKelvie και συν. (2003) μελέτησαν 32 κορίτσια που υποβλήθηκαν σε φυσική άσκηση με άλματα για 10 λεπτά 3 φορές την εβδομάδα και 43 κορίτσια παρόμοιας ηλικίας που αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου, μετρώντας με τη χρήση DXA το οστικό μεταλλικό περιεχόμενο (BMC) ολοσωματικά, στην ΟΜΣΣ και το ισχίο κατά την έναρξη της μελέτης και 20 μήνες αργότερα. Διαπίστωσαν μεγαλύτερη αύξηση της BMC στην ομάδα της φυσικής άσκησης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου σε ΟΜΣΣ (41,7% έναντι 38,0%) και τον αυχένα του μηριαίου οστού (24,8% έναντι 20,2%) (σε αμφότερα $p < 0,05$, ANCOVA) (22). Τα μεγέθη αυτά αφορούν οστικό μεταλλικό περιεχόμενο και όχι οστική πυκνότητα.

Οι Christian Linden και συν. (2006) μελέτησαν 49 κορίτσια ηλικίας 7-9 ετών φυσιολογικής ανάπτυξης που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα φυσικών δραστηριοτήτων στο σχολείο διάρκειας 40 λεπτών την ημέρα (200 λεπτά την εβδομάδα) και 50 παρόμοιας ηλικίας και ανάπτυξης κορίτσια (ομάδα ελέγχου) που υποβάλλονταν στη συνήθη φυσική δραστηριότητα των σχολείων στη Σουηδία (60 λεπτών την εβδομάδα). Όλα τα κορίτσια ήταν πριν την εμμηναρχή. Μετρήθηκε η οστική τους πυκνότητας

[BMC (g) και areal BMD (aBMD; g/cm²)] με DXA (dual-energy x-ray absorptiometry) ολοσωματικά [total body (TB)], στην ΟΜΣΣ (Ο2-Ο4 και Ο3), τον αυχένα του μηριαίου και στην κνήμη [μέτρηση της ογκομετρικής οστικής πυκνότητας (vBMD; g/cm³) και το μέγεθος του οστού σε αυχένα του μηριαίου και τον Ο3]. Διαπιστώθηκε αύξηση της ετήσιας οστικής πυκνότητας συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου [Ο2-Ο4 μέση τιμή 3,8 percentage points ($p = 0,007$), Ο3 μέση τιμή 7,2 percentage points (διαφορά της εκατοστιαίας τιμής μεταξύ των μετρήσεων) ($p < 0,001$) και στην κνήμη μέση τιμή 3 percentage points ($p = 0,07$)] σε συνδυασμό με μεγαλύτερη ετήσια αύξηση της τιμής της aBMD [ολοσωματικά με μέση τιμή 0,6 percentage points ($p = 0,006$), Ο2-Ο4 με μέση τιμή 1,2 percentage points ($p = 0,02$), Ο3 με μέση τιμή 1,6 percentage points ($p = 0,006$) και κνήμη με μέση τιμή 1,2 percentage points ($p = 0,007$)]. Είχαν επίσης υψηλότερη αύξηση του μεγέθους του οστού που εκτιμήθηκε στο Ο3 με μέση τιμή 1,8 percentage points ($p < 0,001$) και στον αυχένα του μηριαίου με μέση τιμή 0,3 percentage points ($p = 0,02$) με μεγαλύτερη αύξηση της ογκομετρικής οστικής πυκνότητας [μέση διαφορά 0,24 T.A., $p = 0,002$] (28).

Οι Bradney M και συν. (1998) μελέτησαν 20 αγόρια (μέσης ηλικίας 10,4 ετών, 8,4-11,8 ετών) που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα εκπαίδευσης σχετικά με ασκήσεις φόρτισης μέτριας έντασης (30 λεπτά τρεις φορές την εβδομάδα για 8 μήνες) που συνέκριναν με 20 αγόρια παρόμοιας ηλικίας (ομάδα ελέγχου), μετρώντας την οστική πυκνότητα με DXA κατά την έναρξη της μελέτης και την ολοκλήρωσή της. Διαπίστωσαν σημαντικότερη (διπλάσια) αύξησή της ολοσωματικά, στην ΟΜΣΣ και τα κάτω άκρα ($p < 0,05$). Αυξήθηκε επίσης το πάχος του φλοιώδους οστού στη διάφυση του μηριαίου οστού ($p < 0,05$) με αύξηση της ογκομετρικής οστικής πυκνότητας (volumetric BMD με $p < 0,05$) (30).

Οι Fuchs RK και συν. (2001) μελέτησαν 89 παιδιά ηλικίας 5,9-9,8 ετών (πριν την έναρξη της εφηβείας) που τυχαίοποιημένα διακρίνονται στην ομάδα των παιδιών που υποβλήθηκαν σε ασκήσεις με άλματα (25 αγόρια και 20 κορίτσια) και στην ομάδα ελέγχου (26 αγόρια και 18 κορίτσια) που υποβάλλονταν σε ήπιες χωρίς φόρτιση ασκήσεις διάτασης για 7 μήνες, μετρώντας την οστική πυ-

κνότητα με DXA στην ΟΜΣΣ και τον αυχένα του μηριαίου οστού κατά την έναρξη της μελέτης και με την ολοκλήρωσή της. Διαπίστωσαν μεγαλύτερη αύξηση [με analysis of covariance (ANCOVA) της οστικής μάζας στην ομάδα σε ασκήσεις συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (4,5% έναντι 3,1% συνολικά με $p = 0,08$ στον αυχένα του μηριαίου οστού)]. Δεν αναφέρθηκαν ανεπιθύμητες εκδηλώσεις που να σχετίζονταν με το πρόγραμμα των ασκήσεων (31).

Οι Valdimarsson και συν. (2006) μελέτησαν 53 κορίτσια ηλικίας 7-9 ετών που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα ασκήσεων 40 λεπτά την ημέρα στο σχολείο τους, που συνέκριναν με 50 υγιή παρόμοιας ηλικίας κορίτσια που υποβάλλονταν στο τυπικό πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας 60 λεπτών την εβδομάδα (ομάδα ελέγχου), για ένα έτος, μετρώντας την οστική πυκνότητα σε ΟΜΣΣ, τον αυχένα του μηριαίου οστού, την κνήμη και ολοσωματικά με τη χρήση DXA. Διαπίστωσαν μεγαλύτερη κατά 4,7% στην ΟΜΣΣ και κατά 9,5% στον Ο3, ετήσια αύξηση της οστικής πυκνότητας συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (αμφότερα $P < 0,001$). Διαπίστωσαν επίσης ετήσια αύξηση του πάχους του οστού κατά 2,9 percentage points μεγαλύτερη συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου ($P < 0,001$) (34).

Διατήρηση της αυξημένης οστικής μάζας παρά τη μείωση της έντασης και της συχνότητας της φυσικής δραστηριότητας σε μεταγενέστερες ηλικίες

Οι Bass S και συν. (1998) μελέτησαν 45 κορίτσια πριν την εμμηναρχή (10,4±0,3 ετών) και 36 γυναίκες γυμνάστριες σε συνταξιοδότηση που συμμετείχαν σε φυσική άσκηση και συνέκριναν με 50 γυναίκες (ομάδα ελέγχου) (25±0,9 ετών), μετρώντας την οστική πυκνότητα με DXA [μέτρηση των τυπικών αποκλίσεων (SD) και των Z-σκορ]. Διαπιστώθηκε υψηλότερη οστική πυκνότητα της ομάδας των κοριτσιών σε άσκηση συγκριτικά με την ομάδα των μαρτύρων [0,7-1,9 SD ($p < 0,01$) και Z scores ($r = 0,32$ -0,48 με p μεταξύ $<0,04$ και $<0,002$)]. Στη διάρκεια 12 μηνών παρατηρήθηκε μεγαλύτερη κατά 30%-85% αύξηση της οστικής πυκνότητας ετησίως (ολοσωματικά, στην ΟΜΣΣ και στα κάτω άκρα) στα πριν την εφηβεία κορίτσια σε φυσική δραστηριότητα συγκριτικά με τα πριν την εφηβεία κορίτσια

της ομάδας ελέγχου (σε όλες τις περιοχές $p < 0,05$). Στις σε συνταξιοδότηση γυμνάστριες παρατηρήθηκε μεγαλύτερη αύξηση της οστικής πυκνότητας συγκριτικά με τις γυναίκες της ομάδας ελέγχου. Σημαντικό το ότι δεν παρατηρήθηκε μείωση της οστικής πυκνότητας μετά τη συνταξιοδότηση (μέσος χρόνος από τη διακοπή της προπόνησης 8 ± 1 έτη, με εύρος 1,5-20 έτη) παρά τη μείωση της συχνότητας και της έντασης της φυσικής δραστηριότητας/άσκησης (29).

Συσχέτιση αύξησης οστικής πυκνότητας με άλιπη μάζα σώματος (lean body mass) σε παιδιά και εφήβους υπό προγράμματα φυσικής άσκησης

Οι McKay HA και συν. (2000) μελέτησαν 144 κορίτσια από 10 δημοτικά σχολεία πριν και πρώιμα μετά την εμμηναρχή που διακρίθηκαν τυχαιοποιημένα σε 63 κορίτσια που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα ασκήσεων (πρώτιστα με άλματα δύο φορές την εβδομάδα) και σε 81 κορίτσια που υποβλήθηκαν σε τακτική σχετικά με τη φυσική δραστηριότητα εκπαίδευση (ομάδα ελέγχου) για 8 μήνες, μετρώντας την οστική πυκνότητα [areal bone mineral density (aBMD)] με DXA. Διαπίστωσαν σημαντικότερη αύξηση συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (4,4% έναντι 3,2% με $p < 0,05$) στον τροχαντήρα του μηριαίου οστού, που διατηρήθηκε και μετά την εκτίμηση παραγόντων όπως την πρόσληψη με τη δίαιτα ασβεστίου, την αρχική τιμή της aBMD καθώς και τη μεταβολή στο ύψος και την άλιπη μάζα σώματος (lean body mass) στην ολοκλήρωση της μελέτης (32). Επίσης οι Morris FL και συν. (1997) μελέτησαν 71 κορίτσια ηλικίας 9-10 ετών (πριν την εμμηναρχή) που υποβλήθηκαν σε υψηλής φόρτισης φυσική άσκηση για 10 μήνες και παρόμοιας ηλικίας κορίτσια (ομάδα ελέγχου), μετρώντας την οστική πυκνότητα στην ΟΜΣΣ, στο ισχίο και ολοσωματικά με τη χρήση DXA. Στην πολλαπλή γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης διαπιστώθηκε μεγαλύτερη αύξησή της στην ομάδα της φυσικής άσκησης σε όλες τις θέσεις μέτρησης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου [σε ΟΜΣΣ 4,8% έναντι 1,2%, στο ισχίο 12% έναντι 1,7% και ολοσωματικά 3,5% έναντι 1,2%) που σχετίστηκε με τη μεγαλύτερη αύξηση της άλιπης μάζας σώματος (lean body mass) κατά την ολοκλήρωση της μελέτης (33).

Συσχέτιση διάρκειας φυσικής άσκησης με ετήσια αύξηση της οστικής πυκνότητας και του πάχους οστού σε παιδιά

Οι C Lindén και συν. (2007) μελέτησαν 81 αγόρια ηλικίας 7-9 ετών που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα ασκήσεων 40 λεπτά την ημέρα στο σχολείο τους, που συνέκριναν με 57 υγιή παρόμοιας ηλικίας αγόρια που υποβάλλονταν στο τυπικό πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας 60 λεπτών την εβδομάδα (ομάδα ελέγχου), για ένα έτος, μετρώντας την οστική πυκνότητα σε ΟΜΣΣ, τον αυχένα του μηριαίου οστού, την κνήμη και ολοσωματικά με τη χρήση DXA. Διαπίστωσαν μεγαλύτερη ετήσια αύξηση της οστικής πυκνότητας κατά 5,9 percentage points ($P < 0,001$) στην ΟΜΣΣ, aBMD κατά 2,1 percentage points στον Ο3 ($P = 0,01$) και το πάχος του οστού στον Ο3 κατά 2,3 percentage points ($P = 0,001$) στην ομάδα του προγράμματος της άσκησης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Συνολικά διαπιστώθηκε συσχέτιση της διάρκειας της άσκησης με τη μεγαλύτερη μέση τιμή της ετήσιας αύξησης της οστικής πυκνότητας στο Ο3 ($r = 0,26$ και $P = 0,003$), Ο3 aBMD ($r = 0,18$ και $P = 0,04$) και του πάχους οστού στον Ο3 ($r = 0,24$ και $P = 0,006$) (35).

Μείωση του κινδύνου καταγμάτων σε παιδιά, εφήβους και την ενήλικη ζωή

Αναφέρθηκε συσχέτιση της συμμετοχής σε προγράμματα φυσικής άσκησης στη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής περιόδου με μείωση του κινδύνου καταγμάτων στη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής ηλικίας καθώς και αργότερα στη νεαρή ενήλικη ζωή (25,36-45). Δύο από τις μελέτες αυτές, ωστόσο, ανέφεραν βελτίωση των οστικών χαρακτηριστικών χωρίς καμία επίδραση στην επίπτωση καταγμάτων (44,45).

Οι J Fritz και συν. (2016) μελέτησαν 3534 παιδιά ηλικίας 6-8 ετών που κατανεμήθηκαν ανά σχολείο (προοπτική ελεγχόμενη, μη τυχαιοποιημένη μελέτη) στην ομάδα των 1339 παιδιών που υποβλήθηκαν σε μέτριας έντασης φυσική άσκηση για 40 λεπτά την ημέρα και στην ομάδα των 2195 παιδιών που παρακολουθούσαν το τυπικό πρόγραμμα των 60 λεπτών την εβδομάδα για 7 χρόνια. Σε 264 παιδιά μετρήθηκε η οστική πυκνότητα με τη χρήση DXA. Εκτιμήθηκε η ετήσια επίπτωση καταγμάτων [annual fracture incidence rate ratios (IRR)] που βρέθηκε

χαμηλότερη στην ομάδα της φυσικής άσκησης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου ($r = -0.79$ με $p = 0,04$ και στο έβδομο έτος με $IRR = 0,52$ και 95% CI: 0,27-1,01). Επίσης διαπιστώθηκε μεγαλύτερη αύξηση της οστικής πυκνότητας σε ΟΜΣΣ στην ομάδα της φυσικής άσκησης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (μέση τιμή διαφοράς 0,03 g/cm²) (25).

Πρέπει ωστόσο να επισημανθεί ότι αρχικά (όπως το πρώτο έτος) πιθανόν να παρατηρηθεί κάποια αύξηση του κινδύνου αυτού (συγκριτικά με τις ομάδες ελέγχου) που οφείλεται μάλλον στον αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού όπως πτώσεων (25,36). Στη συνέχεια παρατηρήθηκε προοδευτική ετήσια μείωση του κινδύνου αυτού (25,36).

Οι Marcus E Cöster και συν. (2017) μελέτησαν τα δεδομένα 1339 παιδιών που υποβλήθηκαν σε πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας και 2195 παιδιών (ομάδα ελέγχου) (όλα ηλικίας 6-8 ετών) από 5 σχολεία στο Malmö της Σουηδίας τη χρονική περίοδο 1998-2012. Το πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας συνίστατο σε 40 λεπτά μέτριας έντασης φυσικές δραστηριότητες την ημέρα για 8 χρόνια. Στην ομάδα ελέγχου εφαρμόστηκε το πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας του Εθνικού προγράμματος της Σουηδίας διάρκειας 60 λεπτά την εβδομάδα. Εκτιμήθηκε ο κίνδυνος καταγμάτων ακτινογραφικά επιβεβαιωμένων [annual fracture incidences και incidence rate ratios (IRRs)]. Το πρώτο έτος μετά την έναρξη της παρέμβασης διαπιστώθηκε αύξηση του κινδύνου αυτού [$IRR = 1,65$ (95% CI: 1,05-2,58) συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου]. Στη συνέχεια ωστόσο διαπιστώθηκε μείωση κατά 15,7% (95% CI: 5,6%-26,8%) ετησίως του κινδύνου αυτού συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Μετά τα 8 χρόνια εκτιμήθηκε κατά 52% μείωση του κινδύνου αυτού συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου [$IRR = 0,48$ (95% CI: 0,25-0,91)] (36).

Η μείωση αυτή πρέπει να αποδοθεί στο συνδυασμό αύξησης της οστικής πυκνότητας [areal bone mineral density (aBMD)] (25,46), αύξησης της μυϊκής ισχύος (47) και μείωσης του κινδύνου πτώσεων/τραυματισμών λόγω βελτίωσης της ισορροπίας και του ελέγχου κινήσεων του σώματος (48).

Αξίζει επίσης να αναφερθεί η μείωση του κινδύνου κατάγματος σε πρώην αθλητές (40-43) καθώς

και η διατήρηση της ευνοϊκής επίδρασης της άσκησης που σημαντικά ωστόσο εξασθενεί σε μη συνέχιση της φυσικής άσκησης στον κίνδυνο αυτό (41,49,50).

Περιορισμοί

Πρόκειται για αφηγηματική και όχι συστηματική ανασκόπηση: αναζητήθηκε μία μόνο βάση δεδομένων (PubMed), δεν ορίστηκαν εκ των προτέρων κριτήρια ένταξης/αποκλεισμού, δεν αναφέρεται ο αριθμός των εγγραφών που ανακτήθηκαν και δεν έγινε τυπική αξιολόγηση της μεθοδολογικής ποιότητας και του κινδύνου συστηματικού σφάλματος. Πολλές από τις μελέτες που αναφέρονται (βιβλιογραφικές παραπομπές 21, 25, 28, 34, 35, 36, 44 και 45) προέρχονται από την ίδια κοορτή του Malmö Pediatric Osteoporosis Prevention, οπότε η βάση τεκμηρίωσης είναι λιγότερο ανεξάρτητη από ό,τι υποδηλώνει ο αριθμός των παραπομπών. Οι περισσότερες παρεμβάσεις ήταν βραχείες (7 μήνες έως 3 έτη) σε σχέση με τα εξεταζόμενα αποτελέσματα. Η εκτίμηση έγινε σχεδόν αποκλειστικά με DXA, που αποδίδει επιφανειακή και όχι ογκομετρική πυκνότητα και συνεπώς επηρεάζεται από την ταυτόχρονη μεταβολή του μεγέθους του οστού την οποία προκαλεί και η ίδια η άσκηση. Τέλος, η πρόσληψη ασβεστίου και βιταμίνης D, η διαθεσιμότητα ενέργειας και το στάδιο της ήβης τροποποιούν την οστική απόκριση στη φόρτιση και αναφέρονταν ανομοιόμορφα στις πρωτογενείς μελέτες.

Πρακτικές προεκτάσεις

Οι μελέτες που συνοψίζονται εδώ συγκλίνουν σε σύντομες, υψηλής φόρτισης δραστηριότητες με φόρτιση σωματικού βάρους – συνήθως άλματα ή κυκλική προπόνηση 10 έως 40 λεπτών, τουλάχιστον τρεις ημέρες την εβδομάδα, ενταγμένες στο σχολικό πρόγραμμα. Η επίδραση είναι ειδική ανά ανατομική θέση και μεγαλύτερη πριν την έναρξη της ήβης. Απαιτείται επαρκής πρόσληψη ασβεστίου και βιταμίνης D καθώς και επαρκής διαθεσιμότητα ενέργειας· στους εφήβους, και ιδίως στις αθλήτριες, ο συνδυασμός υψηλού φόρτου προπόνησης με χαμηλή διαθεσιμότητα ενέργειας (RED-S) μπορεί να μειώσει αντί να αυξήσει την οστική πρόσληψη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από αριθμό δημοσιεύσεων (ανασκοπήσεων, μετα-αναλύσεων και μελετών) αναφέρθηκε μεγαλύτερη αύξηση της οστικής μάζας/πυκνότητας [Bone Mineral Density (BMD), Bone Mineral Content (BMC)] και του μεγέθους των οστών σε παιδιά και εφήβους αμφοτέρων των φύλων, πριν ή μετά την έναρξη της εφηβείας που υποβλήθηκαν σε εκπαίδευση σχετικά με τη φυσική άσκηση ή με την εφαρμογή προγραμμάτων φυσικής άσκησης συγκριτικά με τις ομάδες ελέγχου, χωρίς την αναφορά ανεπιθύμητων εκδηλώσεων από τα προγράμματα αυτά. Αναφέρθηκε επίσης συσχέτιση της συμμετοχής σε προγράμματα φυσικής άσκησης στη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής περιόδου με μείωση του κινδύνου καταγμάτων στη διάρκεια της παιδικής και εφηβικής ηλικίας καθώς και αργότερα. Πρέπει ωστόσο να επισημανθεί ότι αρχικά (όπως το πρώτο έτος) πιθανόν να παρατηρηθεί κάποια αύξηση του κινδύνου αυτού (συγκριτικά με τις ομάδες ελέγχου) που οφείλεται μάλλον στον αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού όπως πτώσεων. Αναφέρθηκε επίσης συσχέτιση της διάρκειας της φυσικής άσκησης με τη μεγαλύτερη μέση τιμή της ετήσιας αύξησης της οστικής πυκνότητας και του πάχους οστού, σε παιδιά.

Δηλώσεις

Χρηματοδότηση: Η παρούσα εργασία δεν έλαβε ειδική χρηματοδότηση από δημόσιο, κερδοσκοπικό ή μη κερδοσκοπικό φορέα.

Σύγκρουση συμφερόντων: Οι συγγραφείς δηλώνουν ότι δεν υφίσταται σύγκρουση συμφερόντων.

Συμβολή συγγραφέων: Γ.Ν.: σύλληψη και ανάπτυξη του θέματος, βιβλιογραφική διερεύνηση, συγγραφή του αρχικού κειμένου. Κ.Μ.: επαλήθευση και επιμέλεια δεδομένων, εξειδικευμένη συμβολή σε θέματα άσκησης και σχετικής ορολογίας, δομή και μορφοποίηση του άρθρου, σύνταξη περιλήψεων, μετάφραση και κριτική αναθεώρηση του κειμένου. Όλοι οι συγγραφείς διάβασαν και ενέκριναν την τελική μορφή του άρθρου.

Ηθική έγκριση: Δεν απαιτείται για ανασκόπηση δημοσιευμένης βιβλιογραφίας.

Δήλωση για χρήση τεχνητής νοημοσύνης (TN) στην επιστημονική συγγραφή: Το ChatGPT της OpenAI χρησιμοποιήθηκε κατά τη συγγραφή αυτού του επιστημονικού πονήματος αποκλειστικά για τη γλωσσική επιμέλειά του, τη διόρθωση συντακτικών/γραμματικών λαθών και τη βελτίωση της ροής του λόγου. Όλες οι πληροφορίες, τα δεδομένα και τα συμπεράσματα προέρχονται αποκλειστικά από τους συγγραφείς.

REFERENCES

1. Tobeiha, M., Moghadasian, M. H., Amin, N., & Jarfamejad, S. (2020). RANKL/RANK/OPG pathway: A mechanism involved in exercise-induced bone remodeling. *BioMed Research International*, 2020, 6910312. <https://doi.org/10.1155/2020/6910312>
2. Zhang, L., Zheng, Y.-L., Wang, R., & others. (2022). Exercise for osteoporosis: A literature review of pathology and mechanism. *Frontiers in Immunology*, 13, 1005665. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1005665>
3. Zhang, J., & Cao, Z.-B. (2022). Exercise: A possibly effective way to improve vitamin D nutritional status. *Nutrients*, 14(13), 2652. <https://doi.org/10.3390/nu14132652>
4. Owens, D. J., Fraser, W. D., & Close, G. L. (2015). Vitamin D and the athlete: Emerging insights. *European Journal of Sport Science*, 15(1), 73-84. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.944223>
5. Maroon, J. C., Mathyssek, C. M., Bost, J. W., Amos, A., Winkelman, R., Yates, A. P., et al. (2015). Vitamin D profile in National Football League players. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(5), 1241-1245. <https://doi.org/10.1177/0363546514567297>
6. Lombardi, G., Ziemann, E., Banfi, G., & Corbetta, S. (2020). Physical activity-dependent regulation of parathyroid hormone and calcium-phosphorous metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15), 5388. <https://doi.org/10.3390/ijms21155388>
7. Lv, X., Wang, J., Bao, Y., & others. (2021). The effectiveness of balneotherapy and aquatic exercise on bone metabolism: A systematic review and meta-analysis. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 44, 101429. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101429>
8. Jandova, T., Buendía-Romero, A., Polanska, H., & others. (2021). Long-term effect of exercise on iris blood levels—Systematic review and meta-analysis. *Healthcare*, 9(11), 1438. <https://doi.org/10.3390/healthcare9111438>

9. Rahimi, G. R. M., Hejazi, K., & Hofmeister, M. (2022). The effect of exercise interventions on irisin level: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *EXCLI Journal*, 21, 524-539. <https://doi.org/10.17179/excli2022-4703>
10. Allen, D. L., Hittel, D. S., & McPherron, A. C. (2011). Expression and function of myostatin in obesity, diabetes, and exercise adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(10), 1828-1835. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182178bb4>
11. Motahari Rad, M., Bijeh, N., & others. (2020). The effect of two concurrent exercise modalities on serum concentrations of FGF21, irisin, follistatin, and myostatin in men with type 2 diabetes mellitus. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 1-10.
12. Wen, R., Huang, R., Xu, K., & others. (2023). Beneficial effects of Apelin-13 on metabolic diseases and exercise. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1285788. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1285788>
13. Ligetvári, R., Szokodi, I., Far, G., Csöndör, É., Móra, Á., Komka, Z., & others. (2023). Apelin as a potential regulator of peak athletic performance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24. <https://doi.org/10.3390/ijms24098195>
14. Petersen, A. M., & Pedersen, B. K. (2005). The anti-inflammatory effect of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 98(4), 1154-1162. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00164.2004>
15. Fischer, C. P. (2006). Interleukin-6 in acute exercise and training: What is the biological relevance? *Exercise Immunology Review*, 12, 6-33.
16. Tamura, Y., Watanabe, K., Kantani, T., Hayashi, J., Ishida, N., & Kaneki, M. (2011). Upregulation of circulating IL-15 by treadmill running in healthy individuals: Is IL-15 an endocrine mediator of the beneficial effects of endurance exercise? *Endocrine Journal*, 58, 211-215. <https://doi.org/10.1507/endocrj.K10E-400>
17. Yargic, M. P., Torgutalp, S., Akin, S., & others. (2019). Acute long-distance trail running increases serum IL-6, IL-15, and Hsp72 levels. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44, 627-631. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0520>
18. Vicente-Rodríguez, G. (2006). How does exercise affect bone development during growth? *Sports Medicine*, 36(7), 561-569. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636070-00002>
19. Burrows, M. (2007). Exercise and bone mineral accrual in children and adolescents. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(3), 305-312.
20. Specker, B., Thiex, N. W., & Sudhagani, R. G. (2015). Does exercise influence pediatric bone? A systematic review. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 473(11), 3658-3672. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4467-7>
21. Löfgren, B., Detter, F., Dencker, M., & others. (2011). Influence of a 3-year exercise intervention program on fracture risk, bone mass, and bone size in prepubertal children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 26(8), 1740-1747. <https://doi.org/10.1002/jbmr.381>
22. MacKelvie, K. J., Khan, K. M., Petit, M. A., & others. (2003). A school-based exercise intervention elicits substantial bone health benefits: A 2-year randomized controlled trial in girls. *Pediatrics*, 112(6 Pt 1), e447. <https://doi.org/10.1542/peds.112.6.e447>
23. Faigenbaum, A. D., Westcott, W. L., Loud, R. L., & others. (1999). The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics*, 104(1), e5. <https://doi.org/10.1542/peds.104.1.e5>
24. Gunter, K., Baxter-Jones, A. D., Mirwald, R. L., & others. (2008). Impact exercise increases BMC during growth: An 8-year longitudinal study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23, 986-993. <https://doi.org/10.1359/jbmr.071201>
25. Fritz, J., Coster, M. E., Nilsson, J. A., & others. (2016). The associations of physical activity with fracture risk—a 7-year prospective controlled intervention study in 3,534 children. *Osteoporosis International*, 27, 915-922. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3311-y>
26. Macdonald, H. M., Kontulainen, S. A., Khan, K. M., & others. (2007). Is a school-based physical activity intervention effective for increasing tibial bone strength in boys and girls? *Journal of Bone and Mineral Research*, 22, 434-446. <https://doi.org/10.1359/jbmr.061205>
27. Clark, E. M., Ness, A. R., & Tobias, J. H. (2008). Vigorous physical activity increases fracture risk in children irrespective of bone mass: A prospective study of the independent risk factors for fractures in healthy children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23, 1012-1022. <https://doi.org/10.1359/jbmr.080303>
28. Linden, C., Ahlborg, H. G., Besjakov, J., Gardsell, P., & Karlsson, M. K. (2006). A school curriculum-based exercise program increases bone mineral accrual and bone size in prepubertal girls: Two-year data from the pediatric osteoporosis prevention (POP) study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21(6), 829-835. <https://doi.org/10.1359/jbmr.060304>
29. Bass, S., Pearce, G., Bradney, M., Hendrich, E., Delmas, P. D., Harding, A., & Seeman, E. (1998). Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: Studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *Journal of*

- Bone and Mineral Research, 13(3), 500–507. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.3.500>
30. Bradney, M., Pearce, G., Naughton, G., Sullivan, C., Bass, S., Beck, T., Carlson, J., & Seeman, E. (1998). Moderate exercise during growth in prepubertal boys: Changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: A controlled prospective study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 13(12), 1814–1821. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.12.1814>
31. Fuchs, R. K., Bauer, J. J., & Snow, C. M. (2001). Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: A randomized controlled trial. *Journal of Bone and Mineral Research*, 16(1), 148–156. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2001.16.1.148>
32. 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. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(00\)70095-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(00)70095-3)
33. Morris, F. L., Naughton, G. A., Gibbs, J. L., Carlson, J. S., & Wark, J. D. (1997). Prospective ten-month exercise intervention in premenarcheal girls: Positive effects on bone and lean mass. *Journal of Bone and Mineral Research*, 12(9), 1453–1462. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.9.1453>
34. Valdimarsson, O., Linden, C., Johnell, O., Gardsell, P., & Karlsson, M. K. (2006). Daily physical education in the school curriculum in prepubertal girls during 1 year is followed by an increase in bone mineral accrual and bone width: Data from the prospective controlled Malmö pediatric osteoporosis prevention study. *Calcified Tissue International*, 78(2), 65–71. <https://doi.org/10.1007/s00223-005-0096-6>
35. Lindén, C., Alwis, G., Ahlberg, H., & others. (2007). Exercise, bone mass and bone size in prepubertal boys: One-year data from the pediatric osteoporosis prevention study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(4), 340–347. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00568.x>
36. Cöster, M. E., Fritz, J., Nilsson, J.-Å., & others. (2017). How does a physical activity programme in elementary school affect fracture risk? A prospective controlled intervention study in Malmö, Sweden. *BMJ Open*, 7(2), e012513. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012513>
37. Gardsell, P., Johnell, O., & Nilsson, B. E. (1989). Predicting fractures in women by using forearm bone densitometry. *Calcified Tissue International*, 44, 235–242. <https://doi.org/10.1007/BF02553757>
38. Cummings, S. R., Black, D. M., Nevitt, M. C., & others. (1990). Appendicular bone density and age predict hip fracture in women. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *JAMA*, 263, 665–668. <https://doi.org/10.1001/jama.1990.03440050073030>
39. Sirola, J., Rikkonen, T., Tuppurainen, M., & others. (2006). Association of grip strength change with menopausal bone loss and related fractures: A population-based follow-up study. *Calcified Tissue International*, 78, 218–226. <https://doi.org/10.1007/s00223-005-0298-y>
40. Tveit, M., Rosengren, B. E., Nyquist, F., & others. (2013). Former male elite athletes have lower incidence of fragility fractures than expected. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45, 405–410. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318274fdf3>
41. Tveit, M., Rosengren, B. E., Nilsson, J. A., & others. (2015). Exercise in youth: High bone mass, large bone size, and low fracture risk in old age. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 453–461. <https://doi.org/10.1111/sms.12305>
42. Tolonen, S., Sievänen, H., Mikkilä, V., & others. (2015). Adolescence physical activity is associated with higher tibial pQCT bone values in adulthood after 28 years of follow-up—the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Bone*, 75, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2015.02.012>
43. Nordström, P., Sievänen, H., Gustafson, Y., & others. (2013). High physical fitness in young adulthood reduces the risk of fractures later in life in men: A nationwide cohort study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 28, 1061–1067. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1844>
44. Deter, F., Rosengren, B. E., Dencker, M., & others. (2014). A 6-year exercise program improves skeletal traits without affecting fracture risk: A prospective controlled study in 2,621 children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 29, 1325–1336. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2168>
45. Löfgren, B., Dencker, M., Nilsson, J. A., & others. (2012). A 4-year exercise program in children increases bone mass without increasing fracture risk. *Pediatrics*, 129(6), e1468–e1476. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-2274>
46. Melton, L. J., III, Atkinson, E. J., O’Fallon, W. M., & others. (1993). Long-term fracture prediction by bone mineral assessed at different skeletal sites. *Journal of Bone and Mineral Research*, 8(10), 1227–1233. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650081010>
47. Yau, D. T., Chung, R. C., & Pang, M. Y. (2013). Knee muscle strength and visual acuity are the most important modifiable predictors of falls in patients after hip fracture surgery: A prospective study. *Calcified Tissue International*, 92, 287–295. <https://doi.org/10.1007/s00223-012-9681-7>
48. Lord, S. R., Ward, J. A., Williams, P., & others. (1995). The effect of a 12-month exercise trial on

- balance, strength, and falls in older women: A randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43, 1198-1206. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1995.tb07394.x>
49. Tveit, M., Rosengren, B. E., Nilsson, J. Å., & others. (2013). Bone mass following physical activity in young years: A mean 39-year prospective controlled study in men. *Osteoporosis International*, 24, 1389-1397. <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2081-z>
50. Erlandson, M. C., Kontulainen, S. A., Chilibeck, P. D., & others. (2012). Higher premenarcheal bone mass in elite gymnasts is maintained into young adulthood after long-term retirement from sport: A 14-year follow-up. *Journal of Bone and Mineral Research*, 27, 104-110. <https://doi.org/10.1002/jbmr.514>