



HAL
open science

Influence de la pratique du sprint sur la densité minérale osseuse chez les hommes

Wassim El Hawly

► **To cite this version:**

Wassim El Hawly. Influence de la pratique du sprint sur la densité minérale osseuse chez les hommes. Education. Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2024. Français. NNT: 2024PAUU3066 . tel-04633535

HAL Id: tel-04633535

<https://theses.hal.science/tel-04633535>

Submitted on 3 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT

ED 481 - Sciences sociales et humanités

Présentée et soutenue le : 21 Juin 2024

Par : Wassim EL HAWLY

Thèse pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour
(Sciences et Techniques des Activités physiques et Sportives)

Influence de la pratique du sprint sur la densité minérale osseuse chez les hommes

Thèse dirigée par : Gautier ZUNQUIN et Rawad EL HAGE

JURY

Rapporteurs

- Christelle JAFFRE Professeure des Universités / Université de Picardie Jules Verne
- Rachid JENNANE Professeur des Universités / Université d'Orléans

Examineurs

- Antonio PINTI Maître de Conférences HDR / Université Polytechnique des hauts de France
- Zaher EL HAGE Maître de Conférences / Université de Notre Dame, Liban

Directeurs

- Gautier ZUNQUIN Maître de Conférences HDR / Université de Pau et des pays de l'Adour
- Rawad EL HAGE Professeur des Universités / Université de Balamand, Liban

Remerciements

Avant tout, j'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé tout au long de mon parcours académique et qui ont contribué à la réalisation de ma thèse surtout les 128 hommes qui ont participé aux études.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude envers mes directeurs de thèse, Dr. Gautier Zunquin (UPPA, France) et Pr. Rawad El Hage (Université de Balamand, Liban), pour leur précieux conseils, leur disponibilité et leur soutien indéfectible tout au long de ces années.

Je tiens à remercier les membres de comité de thèse pour leur soutien et leurs conseils, les collègues et amis qui m'ont aidé dans mon travail de recherche et en particulier ceux qui m'ont assisté pour les expériences, les analyses de données, la relecture de thèse, ou qui m'ont apporté un soutien moral.

Enfin, un grand merci aux membres du jury d'avoir accepté de participer à l'évaluation de cette thèse. Je dédie cette thèse à ma famille et à leur soutien tout au long de mon parcours académique, pour leur patience et pour leur encouragement (ma mère, ma femme et mes enfants) pour leur support dans les moments difficiles et surtout l'amour qu'ils m'ont apporté afin que ce travail puisse aboutir.

Liste des abréviations

| | |
|--------------|---|
| 1-RM | Une Répétition Maximale |
| ANCOVA | Analyse de covariance |
| BR | Buckling Ratio |
| BSI | Bending Strength Index |
| CE | Corps Entier |
| CMO | Contenu Minérale Osseuse |
| Courbe (ROC) | Receiver Operating Characteristic |
| CSA | Cross Sectional Area |
| CSI | Compressive Strength Index |
| CSMI | Cross-Sectional Moment of Inertia |
| CT | Cortical Thickness |
| DMO | Densité Minérale Osseuse |
| DMOA | Densité Minérale Osseuse Apparente |
| DXA | Dual X-ray Absorptiometry |
| GH | Growth Hormone |
| GH/IGF-1 | Growth Hormone / Insulin-like Growth Factor |
| GPAQ | Global Physical Activity Questionnaire |
| IMC | Indice de Masse Corporelle |
| IMG | Indice de Masse Grasse |
| IMM | Indice de Masse Maigre |

| | |
|---------------------|---|
| IPAQ | International Physical Activity Questionnaire |
| IRM | Imagerie par Résonance Magnétique |
| ISI | Impact Strength Index |
| pQCT | Peripheral Quantitative Computed Tomography |
| PTH | Parathyroid hormone |
| QCT | Quantitative Computed Tomography |
| SD | Standard Deviation |
| SHBG | Sexual Hormone Binding Globulin |
| SI | Strength Index |
| SMI | Skeletal Mass Index |
| VO ₂ max | Consommation Maximale d'Oxygène |
| WHO | World Health Organization |
| Z | Section Modulus |

Table des matières

| | |
|--|----|
| Remerciements | 1 |
| Abréviations | 2 |
| Table des matières | 4 |
| Liste des figures | 7 |
| Liste des tableaux | 11 |
| Introduction | 12 |
| Première partie : Revue de la littérature | 15 |
| 1. Evaluation de la santé osseuse et du risque fracturaire | 15 |
| 1.1 Concept de la résistance biomécanique de l'os | 15 |
| 1.2 Paramètres osseux mesurés/calculés par DXA | 18 |
| 1.3 Outils d'évaluation du risque de fracture | 20 |
| 2. Particularités de l'ostéoporose masculine | 23 |
| 2.1 Epidémiologie de l'ostéoporose et des fractures ostéoporotiques chez les hommes | 23 |
| 2.2 Physiopathologie de l'ostéoporose masculine | 26 |
| 2.3 Bienfaits de l'entraînement physique chez les hommes âgés ayant une faible masse osseuse | 29 |
| 3. Importance et déterminants du pic de masse osseuse | 29 |
| 3.1 Définition et importance du pic de masse osseuse | 29 |
| 3.2 Déterminants du pic de masse osseuse | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.3 Evolution de la masse osseuse en fonction de l'âge | 35 |
| 4. Effets des contraintes mécaniques sur le tissu osseux | 38 |
| 4.1 Mécanismes d'action des contraintes mécaniques sur le tissu osseux | 38 |
| 4.2 Effets de l'activité physique sur le tissu osseux en fonction du type d'activité physique | 39 |
| 4.3 Effets de l'activité physique sur le tissu osseux en fonction de l'âge du début de la pratique | 41 |
| 4.4 L'hyperactivité et le tissu osseux | 44 |
| 4.5 Applications pour la conception des programmes d'activité physique très ostéogéniques | 45 |
| 5. Influence de la pratique du sprint sur les paramètres osseux | 46 |
| 5.1 Sprint et forces de réaction au sol | 46 |
| 5.2 Valeurs de DMO chez les sprinteurs | 47 |
| 5.3 Etudes explorant les relations entre la performance en sprint et les paramètres osseux | 51 |
| 5.4 Etudes transversales explorant les paramètres osseux chez les sprinteurs | 54 |
| 5.5 Etudes longitudinales explorant les effets de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux | 56 |
| Deuxième partie : Contribution personnelle | 58 |
| Méthodologie générale | 58 |
| 1. Conception des études | 58 |
| 2. Recrutement des sujets | 61 |
| 3. Tests réalisés | 61 |
| 3.1 Tests anthropométriques | 61 |

| | |
|---|-----|
| 3.2 Mesures de la DMO | 62 |
| 3.3 Tests de performance physique | 62 |
| 3.4. Questionnaires | 62 |
| 3.5 Analyse statistique | 63 |
| Etude préliminaire 1 : Effets du type d'entraînement physique sur les paramètres de santé osseuse chez les adolescentes : une revue systématique | 64 |
| Etude préliminaire 2 : Relation entre la force maximale en soulevé de terre et la masse osseuse chez un groupe d'hommes âgés sains | 76 |
| Etude principale 1 : Densité minérale osseuse chez des jeunes sprinteurs et des jeunes hommes actifs | 85 |
| Etude principale 2 : Densité minérale osseuse chez des anciens sprinteurs et des hommes actifs | 91 |
| Discussion générale | 101 |
| Conclusions et perspectives | 105 |
| Références bibliographiques | 107 |
| Annexes | 138 |
| Résumé | 140 |

Liste des figures

| | | |
|-----------|--|----|
| Figure 1 | Paramètres structuraux et différentes régions qui contribuent à la résistance d'un os long à la fracture (Ducher et Blimkie, 2006) | 15 |
| Figure 2 | Déterminants de la résistance osseuse chez le rat (Amman et Rizzoli, 2003) | 16 |
| Figure 3 | Géométrie osseuse et résistance mécanique (Felsenberg et Boonen, 2005) | 16 |
| Figure 4 | Principe d'Euler expliquant l'importance de la microarchitecture osseuse (Rubin, 2005) | 17 |
| Figure 5 | Effet du traitement par résidronate sur la microarchitecture osseuse chez des femmes post-ménopausées (Dufresne et coll. 2003) | 18 |
| Figure 6 | Diagnostic de l'ostéoporose en utilisant la DMO mesurée par DXA (Kanis et coll. 1994) | 19 |
| Figure 7 | Intérêts et limites des outils d'évaluation des paramètres osseux in vivo (Ducher et Blimkie, 2006) | 20 |
| Figure 8 | Risque relatif de fracture pour toute diminution d'une déviation standard de DMO (Marshall et coll. 1996) | 20 |
| Figure 9 | Relation entre le T-score (DMO) avant le traitement et le risque de fracture (Cefalu, 2004) | 21 |
| Figure 10 | Facteurs de risques communs dans les trois algorithmes (FRAX, Garvan et QFfracture) | 22 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figure 11 | Comparaison des caractéristiques des trois outils (Kanis et coll. 2017) | 23 |
| Figure 12 | Evolution de la masse osseuse et de la DMO en fonction de l'âge dans les deux sexes (Seeman, 2001) | 24 |
| Figure 13 | Mécanismes de perte osseuse en fonction de l'âge dans les deux sexes (Seeman, 2001) | 25 |
| Figure 14 | Mécanismes de la perte osseuse trabéculaire dans les deux sexes (Seeman, 2001) | 25 |
| Figure 15 | Pourcentage de fractures qui surviennent chez les hommes et les femmes avec une ostéoporose, une ostéopénie ou une DMO normale (Schuit et coll. 2004) | 27 |
| Figure 16 | Principales causes d'ostéoporose chez les hommes (Björnsdottir et coll. 2022) | 28 |
| Figure 17 | Simulation de l'influence du pic de masse osseuse sur l'âge auquel la densité minérale osseuse peut atteindre le seuil diagnostique de l'ostéoporose (Rizzoli et coll. 2010). | 31 |
| Figure 18 | Les déterminants du développement de la masse osseuse et de la résistance osseuse de la naissance à la maturité (Bonjour, 2016) | 32 |
| Figure 19 | Valeurs de CSA et de Z chez des femmes adultes en fonction du type de pratique sportive (Nikander et coll. 2005) | 33 |
| Figure 20 | Effets positifs des apports protéiques sur la santé musculosquelettique des personnes âgées (Bonjour, 2016) | 34 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figure 21 | Influence de la consommation des produits laitiers fermentés sur le métabolisme osseux (Rizzoli et Biver, 2018) | 35 |
| Figure 22 | Cinétique de l'acquisition de la masse osseuse chez les adolescentes (Mackelvie et coll. 2002) | 36 |
| Figure 23 | Evolution de la masse osseuse en fonction de l'âge (Zhu et Zheng, 2020) | 37 |
| Figure 24 | Représentation schématique de l'évolution de l'os cortical et de l'os trabéculaire en fonction de l'âge (Rizzoli et coll. 2001). | 37 |
| Figure 25 | Fenêtres de contraintes mécaniques définies par la théorie du mécanostat de Frost (d'après Forwood et Turner, 1995) | 38 |
| Figure 26 | Résumé des principales études transversales menées sur l'influence de l'activité physique sur la DMO chez les femmes réglées (Egan et coll. 2006).\ | 40 |
| Figure 27 | Evolution de la masse osseuse selon l'âge et le niveau d'activité physique avant et pendant la puberté (Blanchet et coll. 2008) | 41 |
| Figure 28 | Différence de CMO entre bras dominant et bras non-dominant chez des joueuses de tennis selon l'âge du début de la pratique (Kannus et coll. 1995) | 42 |
| Figure 29 | Effet de l'entraînement en force sur le CMO et la DMO du trochanter et du rachis lombaire (Going et Laudermik, 2009) | 43 |
| Figure 30 | Tailles d'effets de l'entraînement en force sur le CMO et la DMO du trochanter et du rachis lombaire (Going et Laudermik, 2009) | 44 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figure 31 | Définition de l'ostéoporose et de l'ostéopénie chez les enfants et les adolescents (Gordon et coll. 2013) | 45 |
| Figure 32 | Forces de réaction au sol rencontrées dans plusieurs activités physiques (Grooten et coll. 1997) | 46 |
| Figure 33 | Forces de réaction au sol et unités de contraintes mécaniques (Dolan et coll. 2006) | 47 |
| Figure 34 | Valeurs de DMO totales et régionales chez 11 groupes d'adolescents pratiquant plusieurs types de sports (Agostinete et coll. 2020) | 48 |
| Figure 35 | Valeurs de DMOA chez 11 groupes d'adolescents pratiquant plusieurs types de sports (Agostinete et coll. 2020) | 49 |
| Figure 36 | Bénéfices et risques de la pratique de la course à pieds et du sprint chez les seniors (Kusy et coll. 2015). | 50 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----------|--|----|
| Tableau 1 | Etudes explorant les relations entre la performance en sprint et les paramètres osseux | 51 |
| Tableau 2 | Etudes transversales explorant les paramètres osseux chez les sprinteurs | 54 |
| Tableau 3 | Etudes longitudinales explorant les effets de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux | 56 |
| Tableau 4 | Conception des études | 58 |

Introduction générale

L'ostéoporose est une pathologie osseuse fréquente chez les personnes âgées (Black et Rosen, 2016 ; Kanis, 1994 ; Ramponi et coll. 2018). Cette maladie est considérée actuellement comme un problème majeur de santé publique (Aspray et Hill, 2019 ; Black et Rosen, 2016 ; Kanis, 1994 ; Ramponi et coll. 2018). Les fractures ostéoporotiques sont associées à un risque accru de morbidité et de mortalité notamment chez les hommes (Florschütz et coll. 2015). Les fractures ostéoporotiques les plus dangereuses sont celles de la hanche (Okiki et coll. 2017).

Le pic de masse osseuse, qui est obtenu généralement lors de la troisième décennie de la vie de l'être humain, est un déterminant majeur du risque de fracture plus tard dans la vie (Bonjour et coll. 2009 ; Bonjour et coll. 1995 ; Gordon et coll. 2017 ; Schönau, 2004). Les stratégies préventives actuelles préconisent d'augmenter le pic de masse osseuse afin de prévenir l'ostéoporose, l'ostéopénie et les fractures de fragilité dans les deux sexes (Bonjour et coll. 2009 ; Bonjour et coll. 1995 ; Gordon et coll. 2017 ; Schönau, 2004). Dans ce cadre, la pratique régulière d'activités physiques à impacts dès l'enfance est fortement recommandée (Borer, 2005). Des apports suffisants en calcium, protéines et vitamines D sont aussi conseillés (Arabi et coll. 2004 ; El-Hajj Fuleihan et coll. 2002 ; Morgan, 2009 ; Sale et coll. 2019 ; Tian et Yu, 2017). Le pic de masse osseuse est aussi influencé par plusieurs paramètres y compris ceux génétiques et ethniques (Bonjour et coll. 2009 ; Bonjour et coll. 1995 ; Gordon et coll. 2017 ; Schönau, 2004). Les valeurs de densité minérale osseuse (DMO) retrouvées au Liban sont inférieures à celles en Europe ou aux Etats-Unis (Arabi et coll. 2004 ; El Hage et Baddoura 2012 ; El Hage et coll. 2011 ; El-Hajj Fuleihan et coll. 2002 ; Saddik et coll. 2020). Plusieurs hypothèses ont été avancées afin de justifier ce résultat obtenu par plusieurs études (Arabi et coll. 2004 ; El Hage et Baddoura 2012 ; El Hage et coll. 2011 ; El-Hajj Fuleihan et coll. 2002 ; Saddik et coll. 2020).

Les études transversales et longitudinales menées sur l'influence de la pratique sportive sur le capital osseux confirment que la réponse ostéogénique est locale et centrée sur les sites sollicités par l'activité (Pate et coll. 2018 ; Santos et coll. 2017 ; Sugiyama, 2018 ; Troy et coll. 2018). La pratique sportive n'influence pas seulement la masse osseuse ou la densité minérale osseuse (DMO) ; les paramètres géométriques, de texture et de microarchitecture sont aussi affectés par la pratique sportive à impacts comme démontré par plusieurs études (Amman et Rizzoli, 2003 ; Ayoub et coll. 2014 ; Fonesca et coll. 2014 ; Yakabe et coll. 2020). Ces paramètres osseux conditionnent la résistance mécanique de l'os et prédisent également le risque de fracture ostéoporotique chez les personnes âgées (Ayoub et coll. 2014 ; Li et coll. 2013).

Plusieurs études récentes menées chez les adultes ont démontré que la force maximale des membres inférieurs, la puissance maximale des membres inférieurs, les détente verticales et horizontales et la performance en sprint sont des facteurs corrélables à la DMO et aux indices géométriques de résistance osseuse (Berro et coll. 2019 ; El khoury et coll. 2018 ; Finianos et coll. 2020 ; Nasr et coll. 2020 ; Sutter et coll. 2019 ; Zakhem et coll. 2016). Ces tests reflètent des qualités physiques qui sont présentes surtout chez les sprinteurs qui sont caractérisés par un rapport puissance musculaire / poids corporel très élevé (Ikedo et coll. 2016 ; Ireland et coll. 2020 ; Korhonen et coll. 2012 ; Piasecki et coll. 2018).

Le premier but de cette thèse est d'explorer donc l'influence de la pratique du sprint sur les paramètres osseux chez des jeunes adultes (20-30 ans). Le deuxième but est de vérifier si les bénéfices osseux chez les sprinteurs d'âge moyen (45-55 ans) persistent après l'arrêt de la pratique sportive. Pour ce faire, deux études transversales ont été menées sur deux populations différentes.

Cette thèse repose donc sur deux hypothèses :

- La pratique du sprint est associée à une meilleure santé osseuse chez les jeunes adultes. Cette pratique est associée à des impacts biomécaniques élevés. D'autre part, les sprinteurs pratiquent généralement la musculation ; le niveau de force maximale des membres inférieurs est un déterminant important de la DMO chez

l'adulte jeune (Finianos et coll. 2020 ; Finianos e coll. 2021 ; Nasr et coll. 2020 ; Sutter et coll. 2019).

- Les bénéfices osseux sont maintenus chez les anciens sprinteurs d'âge moyen après arrêt de la pratique du sprint. Ces bénéfices sont maintenus car la pratique sportive avait démarré quand leur squelette était immature. Le squelette immature réagit aux contraintes mécaniques par des modifications architecturales, ce que le squelette mature est moins capable de faire (Karlsson et coll. 2003 ; Nichols et coll. 2007). Cette spécificité de la réponse du tissu osseux immature aux stimuli mécaniques serait un élément déterminant du maintien des bénéfices osseux chez le jeune sportif qui stopperait sa pratique (Bush, 2009 ; Kontulainen et coll. 2002).

Cette thèse de doctorat inclut également deux études préliminaires qui introduisent les objectifs principaux. La première étude préliminaire avait pour objectif d'explorer les effets du type d'activité physique sur les paramètres osseux chez les adolescentes réglées. La deuxième étude préliminaire avait pour objectif d'explorer les relations entre la force maximale en soulevé de terre et la masse osseuse chez des hommes âgés sains.

Première partie : Revue de la littérature

1. Evaluation de la santé osseuse et du risque fracturaire

1.1 Concept de la résistance biomécanique de l'os

La résistance biomécanique de l'os dépend de plusieurs facteurs comme la densité minérale osseuse (DMO), la géométrie osseuse, la microarchitecture osseuse et la qualité osseuse (Amman et Rizzoli, 2003).

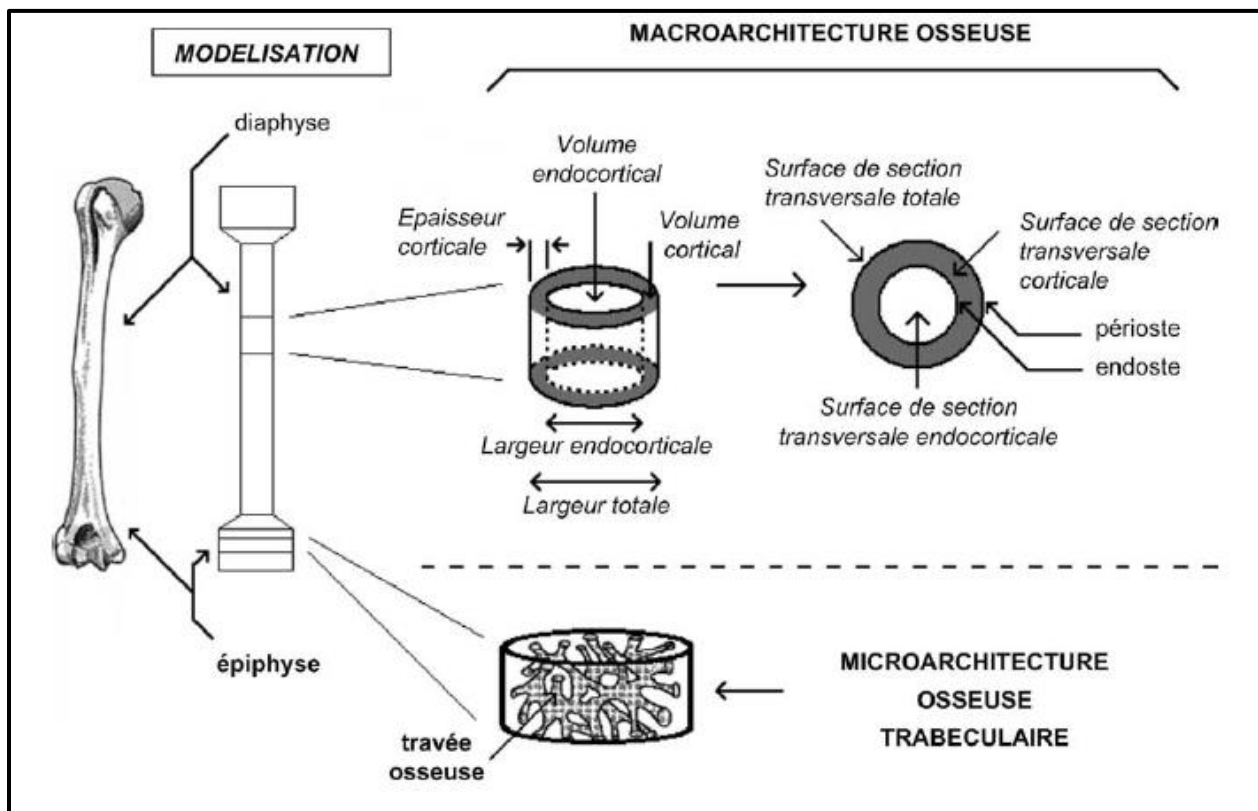


Figure 1 : Paramètres structuraux et différentes régions qui contribuent à la résistance d'un os long à la fracture (Ducher et Blimkie, 2006).

La DMO est considérée comme l'un des meilleurs déterminants de la résistance biomécanique de l'os (Amman, 2003). Celle-ci explique en général 50 à 75 % de la variabilité de la résistance osseuse (Amman, 2003).

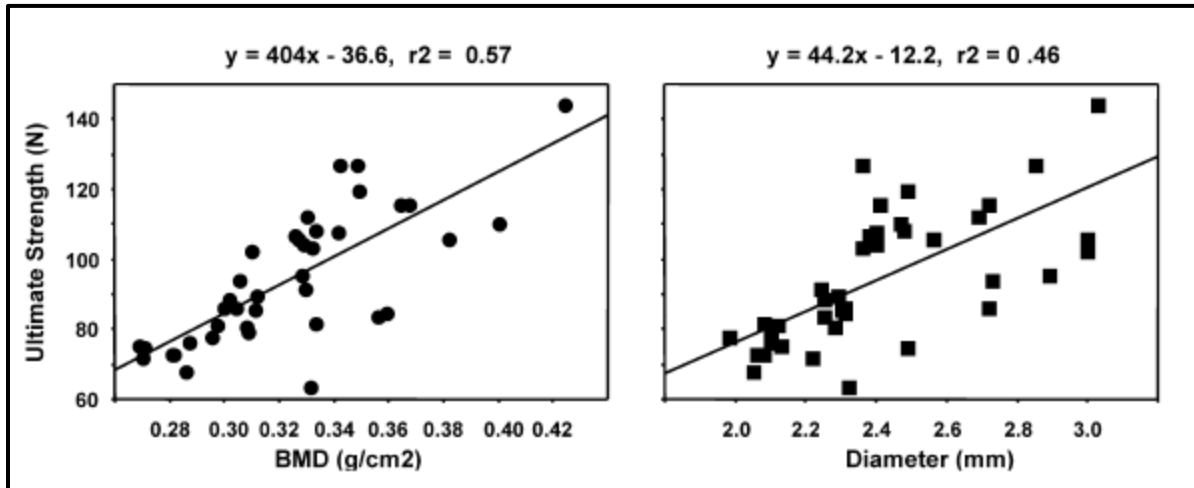


Figure 2 : Déterminants de la résistance osseuse chez le rat (Amman et Rizzoli, 2003).

Ces études ont été confirmées par des méta-analyses confortant le lien étroit entre la DMO et le risque de fracture (Marshall et coll. 1996). Pourtant, il y a un nombre important de fractures qui a lieu chez des sujets ayant une DMO normale.

Les paramètres géométriques conditionnent également la résistance biomécanique de l'os in vitro (Felsenberg et Boonen, 2005).

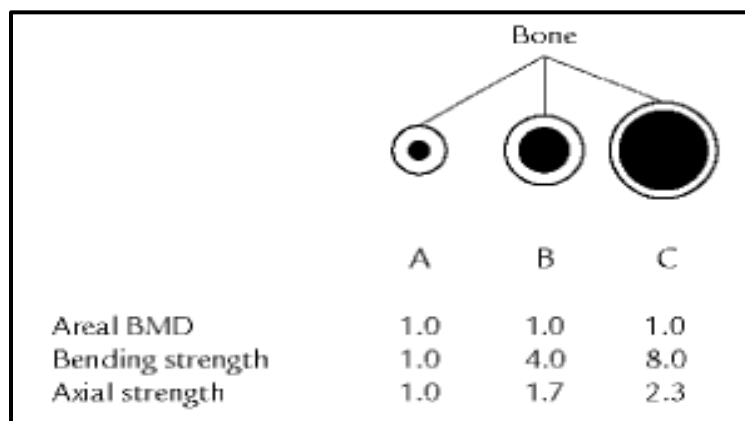


Figure 3 : Géométrie osseuse et résistance mécanique (Felsenberg et Boonen, 2005).

Les études cliniques confirment également que les indices géométriques de Beck comme le moment d'inertie, la surface de la section transversale ou le module de section sont prédictifs de l'incidence fracturaire chez les personnes âgées (Faulkner et coll. 1993).

Les études démontrent que les indices de microarchitecture osseuse sont prédictifs de la fracture vertébrale chez les hommes ostéoporotiques alors que l'épaisseur corticale est un déterminant de la fracture vertébrale chez les femmes ménopausées (Dufresne et coll. 2003 ; Oleksik et coll. 2000). Le principe d'Euler permet d'expliquer l'importance de la structure sur la résistance biomécanique de l'os (Rubin, 2005)

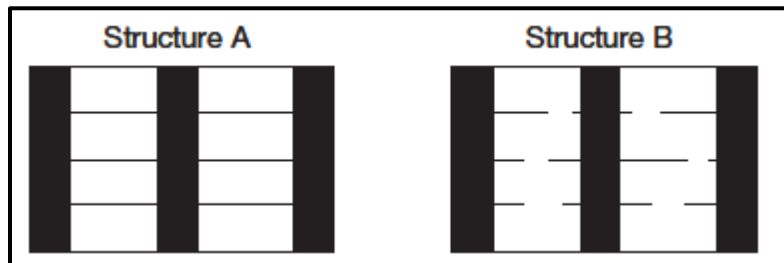


Figure 4 : Principe d'Euler expliquant l'importance de la microarchitecture osseuse (Rubin, 2005).

Une autre étude compare les indices micro-architecturaux chez des femmes post-ménopausées traitées par résidronate et d'autres non-traitées (Dufresne et coll. 2003).

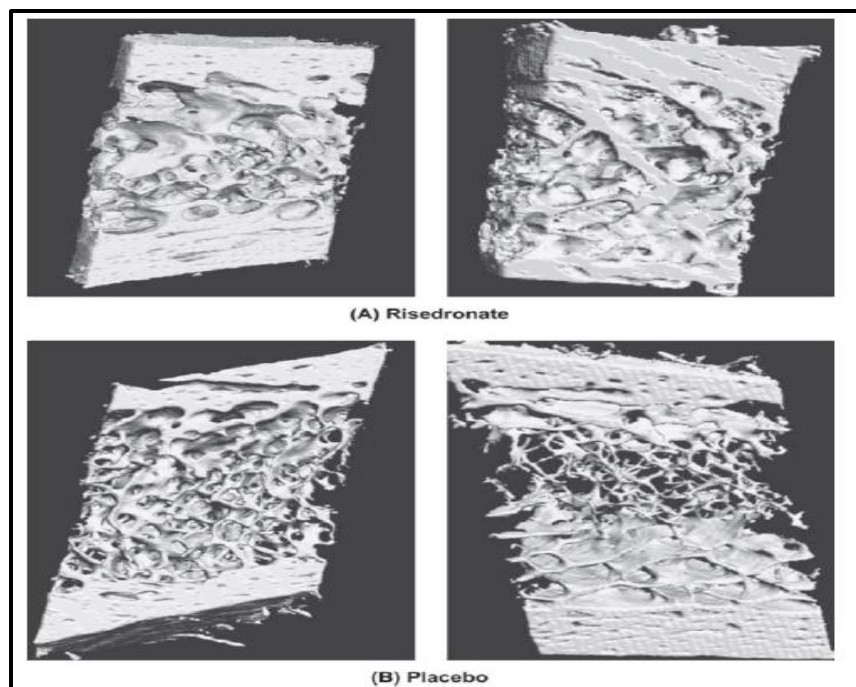


Figure 5 : Effet du traitement par résidronate sur la microarchitecture osseuse chez des femmes post-ménopausées (Dufresne et coll. 2003).

Le degré de minéralisation de la matrice osseuse est aussi un déterminant indépendant de la résistance biomécanique de l'os (Rubin, 2005).

1.2 Paramètres osseux mesurés/calculés par DXA

La DXA permet de mesurer directement plusieurs paramètres osseux qui sont corrélables à la résistance mécanique de l'os et ou au risque fracturaire :

- Le CMO ou la DMO : Des valeurs de T-scores et de Z-scores sont calculés. Les rapports CMO/taille, DMO/taille et CMO/masse maigre sont aussi utilisés.
- Le score de l'os trabéculaire ou TBS qui reflète la texture osseuse.
- Les indices géométriques de Beck mesurés au niveau du col fémoral comme la surface de coupe du col (CSA), le moment d'inertie (CSMI), le module de section (Z), l'épaisseur corticale (CT) et le buckling ratio (BR) (Beck et coll. 1990).
- Les indices de résistance osseuse du col fémoral qui sont calculés à partir des scans du col fémoral et des dimensions corporelles et incluent le *compression*

strength index (CSI), le *bending strength index* (BSI) et l'*impact strength index* ISI (Karlman et coll. 2004).

- La densité minérale osseuse apparente ou DMOA est une estimation de la DMO volumétrique. Elle est calculée au niveau du corps entier, du rachis lombaire, du col fémoral et de l'avant-bras (Katzman et coll. 1991). Cette méthode est particulièrement intéressante chez les sujets en cours de croissance.
- La masse maigre et la masse grasse ainsi que l'indice de masse maigre (IMM), l'indice de masse grasse (IMG) et l'indice de masse maigre squelettique (SMI : utilisé pour le diagnostic de la sarcopénie)

La mesure de la DMO par DXA constitue la base du diagnostic de l'ostéoporose. L'ostéoporose est une « affection diffuse du squelette, caractérisée par une masse osseuse basse et des altérations micro-architecturales, entraînant une augmentation de la fragilité osseuse et du risque de fracture » (WHO, 1994).

| TABLE 1 | |
|---|---|
| World Health Organization criteria for diagnosing osteoporosis using bone density measurements | |
| CATEGORY | T SCORE |
| Normal | Not more than 1.0 standard deviations (SD) below the young adult mean |
| Osteopenia | Between 1.0 and 2.5 SD below the young adult mean |
| Osteoporosis | More than 2.5 SD below the young adult mean |
| Severe or established osteoporosis | More than 2.5 SD below the young adult mean with a fracture |

Figure 6 : Diagnostic de l'ostéoporose en utilisant la DMO mesurée par DXA (Kanis et coll. 1994).

Néanmoins, il existe d'autres techniques qui permettent l'évaluation des paramètres osseux comme la tomographie quantitative à rayons X, la tomographie quantitative périphérique, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et l'ultrasonométrie. La mesure de la DMO par DXA est bidimensionnelle alors que la vraie structure de l'os est

tridimensionnelle. Les avantages et les inconvénients de chaque méthode d'évaluation des paramètres osseux apparaissent dans la figure 7.

| Intérêts et limites des outils d'investigations de l'architecture osseuse in vivo : absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA), imagerie par résonance magnétique (IRM), tomographie quantitative à rayons X (QCT), tomographie quantitative à rayons X périphérique (pQCT) et ultrasonographie quantitative osseuse (US) | | | |
|--|--|---|---|
| Outils | Paramètres accessibles | Intérêts | Inconvénients |
| DXA | Densité minérale osseuse surfacique (g/cm^2) ; contenu minéral osseux (g) ; surface osseuse de projection (cm^2) ; géométrie osseuse (par calculs mathématiques) | Rapide ; relativement accessible ; peu irradiant (0,001 à 0,003 mSv) ; mesure au corps entier ou bien site-spécifique ; évaluation de la composition corporelle | Méthode 2D alors que l'os est une structure 3D |
| IRM | Densité minérale osseuse volumique totale (associée à la DXA) ; géométrie osseuse ; paramètres microarchitecturaux apparents | Non irradiant ; pas de limite des sites analysés (avec une antenne spécifique) ; évaluation de la surface de section transversale musculaire ; libre orientation des plans de coupe | Pas de mesure du contenu minéral osseux ; artefacts de mouvements ; faible accessibilité ; coût élevé ; effets des ondes de radiofréquence sur la santé ? |
| QCT | Géométrie osseuse ; densités minérales osseuses volumiques totale, trabéculaire et corticale ; paramètres microarchitecturaux apparents | Distinction du tissu cortical et du tissu trabéculaire dans l'évaluation de la densité minérale osseuse | Irradiant (0,05 mSv pour le rachis) ; faible accessibilité ; coût élevé |
| pQCT | Idem QCT | Idem QCT ; outil offrant la meilleure résolution pour imager la microarchitecture osseuse trabéculaire in vivo ; peu irradiant (0,001 mSv pour le radius) | Faible accessibilité ; coût élevé |
| US | Vitesse (SOS) et atténuation (BUA) de l'onde | Non irradiant ; rapide et accessible | Aucun paramètre osseux mesuré directement |

Figure 7 : Intérêts et limites des outils d'évaluation des paramètres osseux in vivo (Ducher et Blimkie, 2006).

1.3 Outils d'évaluation du risque de fracture

La DMO est un déterminant important du risque de fracture. Cependant, elle ne peut pas prédire l'incidence fracturaire (Marshall et coll. 1996).

| Site of measurement of bone density | Fracture type | | | |
|---|---|---|--|--|
| | Forearm | Hip | Vertebral | All |
| Measurement by methods other than ultrasound | | | | |
| Proximal radius | 1.8 (1.5 to 2.1) ^{14-17 23-30} | 2.1 (1.6 to 2.7) ^{14-17 23-30} | 2.2 (1.7 to 2.6) ^{14 15 18-22 30} | 1.5 (1.3 to 1.6) ^{*14-17 23-32 37 38} |
| Distal radius | 1.7 (1.4 to 2.0) ^{16 17 23-30} | 1.8 (1.4 to 2.2) ^{16 17 23-30} | 1.7 (1.4 to 2.1) ^{16-22 30} | 1.4 (1.3 to 1.6) ^{*16 17 23-30 33} |
| Hip | 1.4 (1.4 to 1.6) ²³⁻³⁰ | 2.6 (2.0 to 3.5) ²³⁻³⁰ | 1.8 (1.1 to 2.7) ³⁰ | 1.6 (1.4 to 1.8) ^{*23-30 35} |
| Lumbar spine | 1.5 (1.3 to 1.8) ²³⁻³⁰ | 1.6 (1.2 to 2.2) ²³⁻³⁰ | 2.3 (1.9 to 2.8) ¹⁸⁻³⁰ | 1.5 (1.4 to 1.7) ^{18-30 35} |
| Calcaneus | 1.6 (1.4 to 1.8) ²³⁻²⁹ | 2.0 (1.5 to 2.7) ²³⁻²⁹ | 2.4 (1.8 to 3.2) ¹⁸⁻²² | 1.5 (1.3 to 1.8) ^{23-29 36} |
| All | 1.6 (1.5 to 1.7) ^{14-17 23-30} | 2.0 (1.7 to 2.4) ^{14-17 23-30} | 2.1 (1.9 to 2.3) ¹⁴⁻³⁰ | 1.5 (1.4 to 1.6) ^{*14-33 35-38} |
| Measurement by ultrasound | | | | |
| Calcaneus | | 2.2 (1.8 to 2.7) ^{23-29 34} | 1.8 (1.5 to 2.2) ¹⁸⁻²⁹ | 1.5 (1.4 to 1.7) ²³⁻²⁹ |

Figure 8 : Risque relatif de fracture pour toute diminution d'une déviation standard de DMO (Marshall et coll. 1996).

Les valeurs de T-scores (DMO) sont également prédictives du risque fracturaire (Cefalu, 2004).

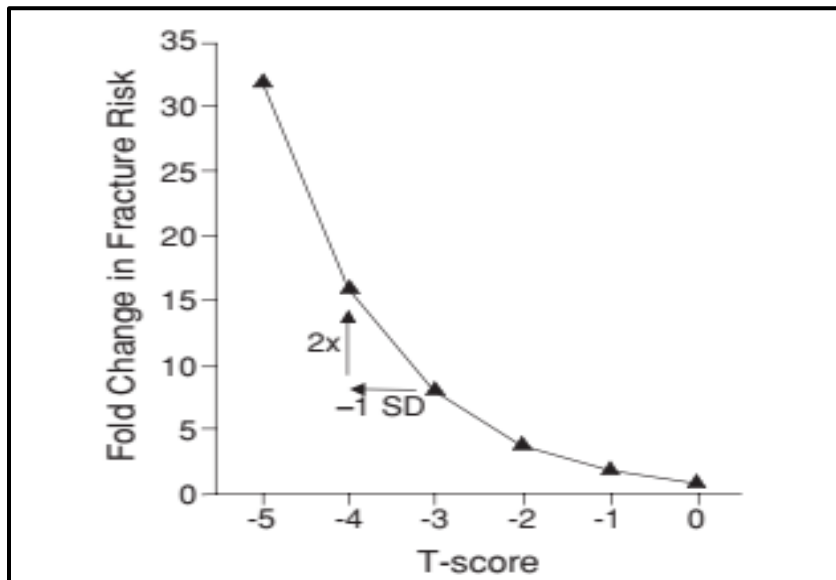


Figure 9 : Relation entre le T-score (DMO) avant le traitement et le risque de fracture (Cefalu, 2004).

Le TBS permet d'améliorer la prédiction du risque fracturaire en complément de la DMO (Pothuaud et coll. 2008). Son utilisation en pratique clinique devient plus fréquente.

L'outil FRAX, mis à disposition par l'organisation mondiale de la santé, est un score de risque qui permet de prédire le risque de fracture ostéoporotique dites majeures, d'une part, et de la hanche, d'autre part, sur dix ans. Les données obtenues sont les probabilités sur 10 ans de fracture de la hanche ou d'une fracture majeure ostéoporotique (fracture clinique de la colonne vertébrale, avant-bras, hanche ou de l'épaule). Les facteurs de risques utilisés sont les suivants : l'âge, le sexe, le poids, la taille, la fracture antérieure, parents ayant eu une fracture de la hanche, tabagisme, prise de glucocorticoïdes, polyarthrite rhumatoïde, ostéoporose secondaire, alcool trois unités par jour ou plus et la DMO. Les études récentes confirment que le FRAX est un outil pertinent pour l'évaluation du risque fracturaire chez les hommes âgés (Fuggle et coll. 2024).

Il existe d'autres algorithmes ayant pour objectif d'explorer le risque fracturaire comme le Garvan et le QFracture (Kanis et coll. 2017).

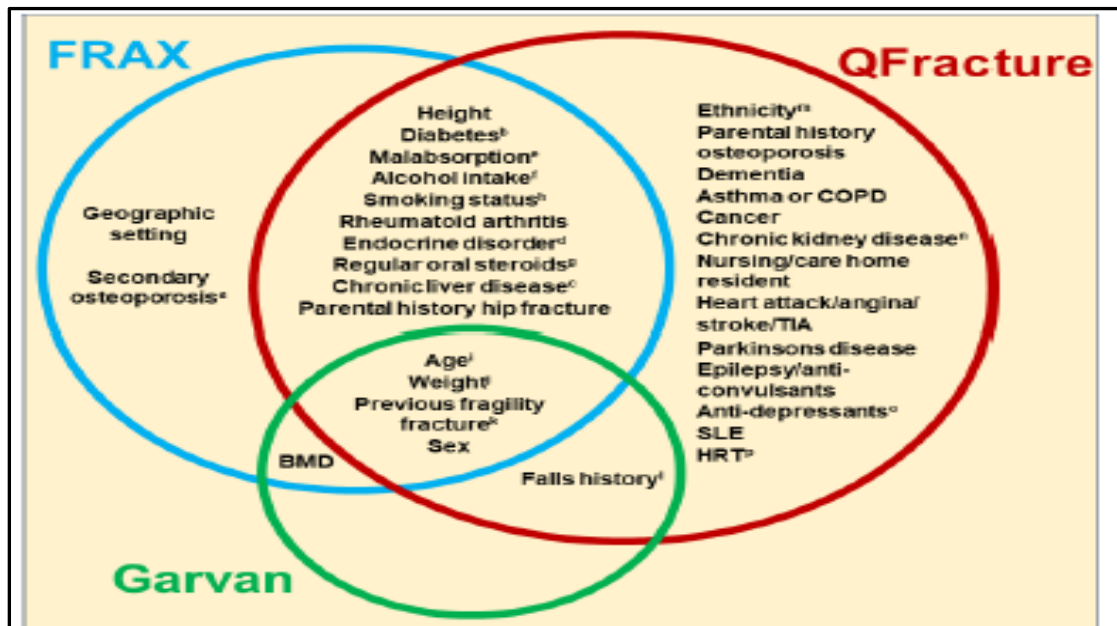


Figure 10 : Facteurs de risques communs dans les trois algorithmes (FRAX, Garvan et QFracture).

Le FRAX est utilisé dans beaucoup de pays, le Garvan est utilisé au Canada et le QFracture est utilisé au Royaume-Unis (Kanis et coll. 2017).

| | Garvan | QFracture | FRAX |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Externally validated | Yes (Canada) | Yes (UK only) | Yes, internationally |
| Calibrated | No | Yes (hip only) | Yes |
| Applicability | Uncertain | UK | 58 countries |
| Falls as an input variable | Yes | Yes | No |
| BMD as an input variable | Yes* | No | Yes |
| Prior fracture as an input variable | Yes | Yes | Yes |
| Family history as an input variable | No | Yes | Yes |
| Outcome | All fractures excluding digits | Hip, forearm, spine, shoulder | Hip, forearm, spine, humerus |
| Outcome metric | Incidence | Incidence | Probability |

* site of BMD not specified on website

Figure 11 : Comparaison des caractéristiques des trois outils (Kanis et coll. 2017).

En synthèse, la DMO mesurée par DXA reste le meilleur déterminant du risque fracturaire et de la résistance mécanique de l'os. Le FRAX est un outil valide et pertinent pour l'estimation du risque fracturaire chez les personnes âgées.

2. Particularités de l'ostéoporose masculine

2.1 Epidémiologie de l'ostéoporose et des fractures ostéoporotiques chez les hommes

La prévalence de l'ostéoporose densitométrique est de 3 à 6 % des hommes de plus de 50 ans (Looker et coll. 1997). Dans certaines études, la prévalence des fractures ostéoporotiques est comparable chez les hommes et chez les femmes (Binkley et coll. 2002). Dans une étude canadienne, la prévalence des fractures vertébrales, représentant les fractures ostéoporotiques en général, était de 21,5 % et 23,5 % chez les hommes et chez les femmes respectivement (Jackson et coll. 2000). Cependant, l'incidence des fractures vertébrales chez les hommes est le tiers de celle des femmes (National Osteoporosis Foundation. America's bone health: the state of osteoporosis and low bone mass. National Osteoporosis Foundation, Washington, DC). L'incidence des fractures du

col de fémur chez les hommes triplera entre 1997 et 2050 en raison du vieillissement de la population masculine (Gullberg et coll. 1997). Il existe plusieurs différences dans le métabolisme osseux entre les hommes et les femmes (Seeman, 2002). Le pic de masse osseuse chez les hommes est plus élevé que chez les femmes en raison d'une acquisition osseuse plus longue durant la phase pubertaire (Bailey et coll. 2000).

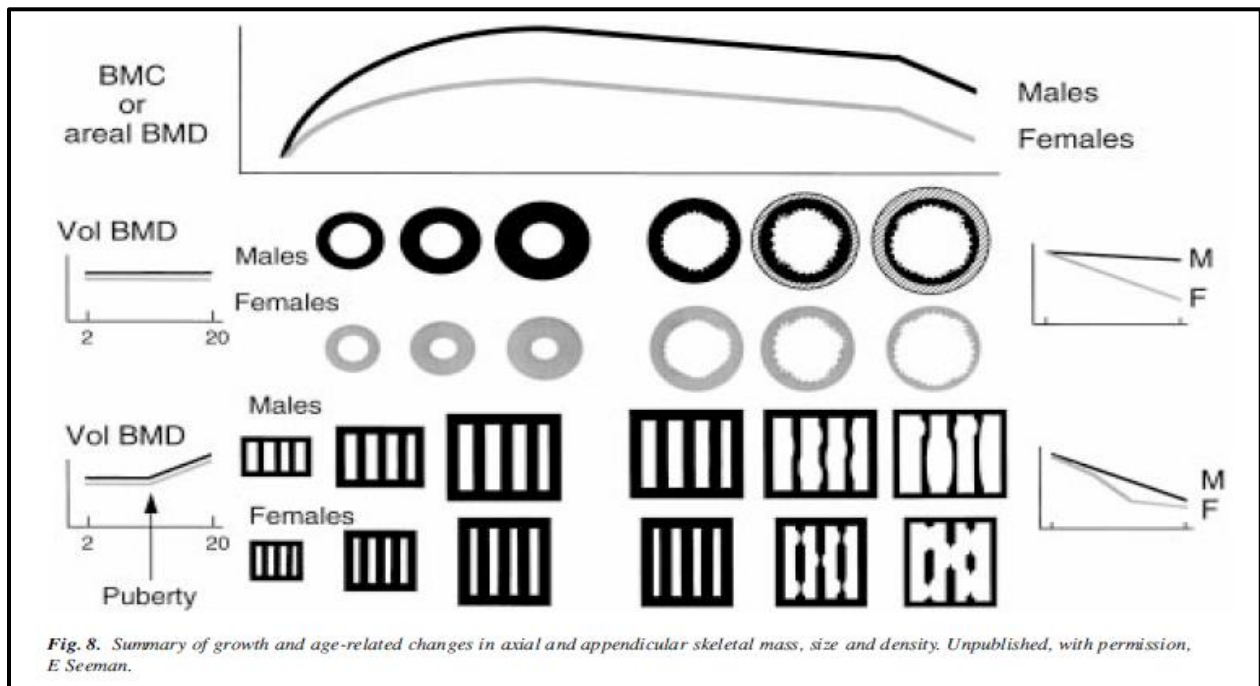


Figure 12 : Evolution de la masse osseuse et de la DMO en fonction de l'âge dans les deux sexes (Seeman, 2001).

Avec l'avance en âge, l'amincissement des corticales est plus marqué chez les femmes que chez les hommes, en raison d'une résorption osseuse endocorticale plus marquée. De même, il existe une augmentation du diamètre des os chez les hommes qui se traduit par une plus grande résistance biomécanique. La taille des os est plus grande chez les hommes, même après ajustement pour le poids et la taille. Cela résulte en une surestimation apparente de la DMO surfacique chez les hommes.

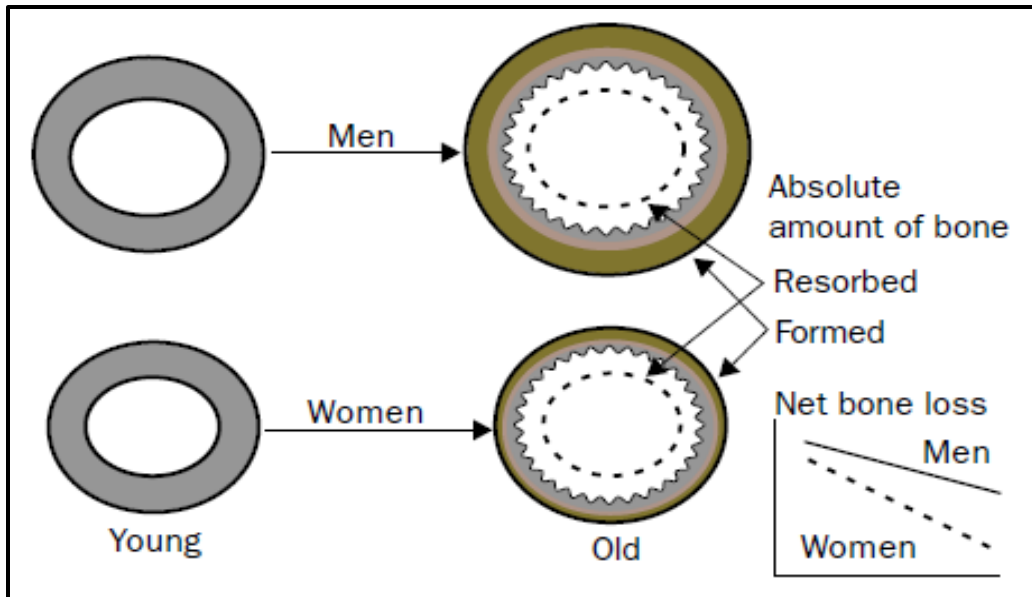


Figure 13 : Mécanismes de perte osseuse en fonction de l'âge dans les deux sexes (Seeman, 2001).

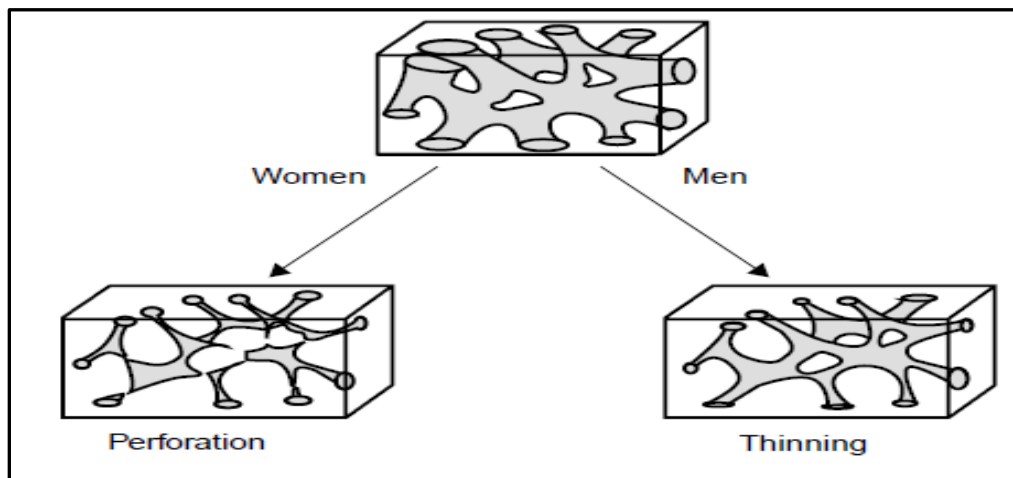


Figure 14 : Mécanismes de la perte osseuse trabéculaire dans les deux sexes (Seeman, 2001).

Certaines études ont suggéré que les hommes se fracturent à une DMO mesurée par DXA plus élevée que celles des femmes. Pour d'autres auteurs, la relation entre la DMO et les fractures est la même chez les hommes et les femmes. Certains auteurs proposent d'utiliser la même valeur absolue de DMO chez les deux sexes pour la prise de décision thérapeutique. Chez les hommes, en raison de la grande prévalence d'arthrose lombaire,

l'extrémité supérieure du fémur est un meilleur site que le rachis lombaire pour prédire le risque de fracture (Seeman, 2001).

La mortalité globale est d'environ 20 % au cours des 12 premiers mois suivant une fracture de la hanche et est plus élevée chez les hommes que chez les femmes (Center et coll. 1999 ; Seeman, 1995). On estime que chez les hommes, le risque à vie de fracture de fragilisation est supérieur à celui de cancer de la prostate (Cooley et Jones 2001 ; Lloyd et coll. 2015).

Bien que la prévalence globale des fractures de fragilité soit plus élevée chez les femmes, les hommes ont généralement des taux de mortalité liés aux fractures plus élevés. Cela est vrai pour les fractures de la hanche, où une réduction de l'espérance de vie et une surmortalité ont été observées à un niveau plus élevé chez les hommes que chez les femmes, même après avoir pris en compte les comorbidités, les médicaments et les changements dans la mortalité de fond (Center et coll. 1999 ; Hasserijs, 2003 ; Frost et coll. 2013 ; Kannegaard et coll. 2010).

Les hommes représentent 25 % des fractures de la hanche survenant chez les plus de 50 ans (Cooper et coll. 1992). Comme chez les femmes, le taux de mortalité chez les hommes après une fracture de la hanche augmente avec l'âge et atteint son maximum dans l'année qui suit la fracture. Au cours des six premiers mois, le taux de mortalité chez les hommes a presque doublé par rapport à celui des femmes du même âge (Kanis et coll. 2003 ; Trombetti et coll. 2002).

La fracture de l'avant-bras est un marqueur précoce et sensible de la fragilité du squelette masculin. Chez les hommes vieillissants, les fractures du poignet comportent un risque absolu de fracture de la hanche plus élevé que les fractures de la colonne vertébrale, par rapport aux femmes (Haentjens et coll. 2004).

2.2 Physiopathologie de l'ostéoporose masculine

On distingue deux types d'ostéoporose chez les hommes : l'ostéoporose primitive (qui inclut l'ostéoporose sénile et l'ostéoporose idiopathique) et l'ostéoporose secondaire (qui est causée en général par une autre maladie ou par des traitements médicaments).

L'ostéoporose sénile s'installe progressivement et est généralement diagnostiquée chez des sujets de plus de 70 ans. La perte osseuse au niveau de la DMO du col fémoral après 50 ans est de 0,2 à 0,4 % par an. La vitesse de la perte osseuse augmente avec l'âge. En effet, la perte osseuse au col fémoral chez l'homme de 85 ans est 2,5 fois plus importante que celle attendue à 65 ans (Bouvard et Cortet, 2020). Un nombre important de fractures à lieu chez des hommes ostéopéniques ou ayant une DMO normale (Schuit et coll. 2004).

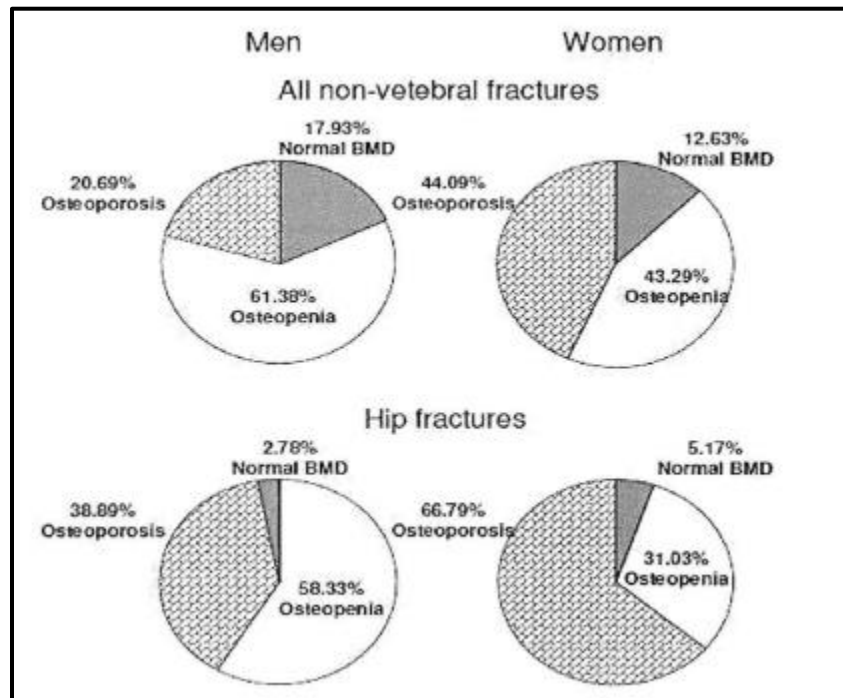


Figure 15 : Pourcentage de fractures qui surviennent chez les hommes et les femmes avec une ostéoporose, une ostéopénie ou une DMO normale (Schuit et coll. 2004).

La formation osseuse et le niveau de remodelage diminuent avec l'âge. Les concentrations d'androgènes libres circulantes diminuent avec l'âge. Ceci est causé par une augmentation des taux de SHBG (*sexual hormone binding globulin*). La testostérone joue un rôle partiel dans la régulation du remodelage osseux trabéculaire et la taille des pièces osseuses. Les taux d'œstrogènes diminuent aussi avec l'âge ; cette hormone a un rôle positif sur la DMO des hommes âgés (Bouvard et Cortet, 2020). L'axe GH/IGF-1 est perturbé aussi chez les hommes âgés, ce qui affecte négativement la DMO.

L'augmentation de la masse grasse viscérale avec l'avancée en âge perturbe aussi la sécrétion de GH et de testostérone (Bouvard et Cortet, 2020).

L'ostéoporose idiopathique est un type rare d'ostéoporose. Le terme « idiopathique » signifie simplement que la cause est inconnue. Ce type d'ostéoporose survient chez les hommes avant l'âge de 50 ans qui n'ont pas de raisons évidentes de présenter un affaiblissement osseux (Björnsdottir et coll. 2022).

Il existe plusieurs causes d'ostéoporose secondaire. Néanmoins, les trois causes majeures sont l'utilisation intensive de glucocorticoïdes, l'abus d'alcool et l'hypogonadisme. Ces trois causes représentent environ 85% des origines secondaires (Björnsdottir et coll. 2022). La figure suivante résume les causes de l'ostéoporose chez les hommes (Björnsdottir et coll. 2022).

| Causes of osteoporosis in men. | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|----------------------|
| Endocrine diseases | Connective tissue diseases | Gastrointestinal diseases | Hematologic disorders | Drugs | Miscellaneous causes |
| Hypogonadism | Osteogenesis imperfecta | Malabsorption syndromes | Multiple myeloma | Glucocorticoids | Eating disorders |
| Delayed puberty | Ehlers-Danlos syndrome | Inflammatory bowel disease | Chronic hemolytic anemia | Heparin | Immobilization |
| Estrogen deficiency | Marfan syndrome | Cirrhosis | Systemic mastocytosis | Thyroxine suppressive therapy | Rheumatoid arthritis |
| Hypercortisolism | Homocystinuria | | | Antiseizure medications | Renal disease |
| Hyperthyroidism | | | | Gonadotropin-releasing hormone analogs | Cirrhosis |
| Hyperparathyroidism | | | | Cyclosporine | Alcohol |
| Vitamin D deficiency | | | | Chemotherapy | Tobacco |
| Growth hormone deficiency | | | | HIV medications | |
| Diabetes mellitus (type 1 and 2) | | | | | |

Figure 16 : Principales causes d'ostéoporose chez les hommes (Björnsdottir et coll. 2022).

2.3 Bienfaits de l'entraînement physique chez les hommes âgés ayant une faible masse osseuse

L'entraînement physique joue un rôle important à cet âge :

- Il permet de maintenir la DMO et augmente la DMO dans certains cas ;
- Il prévient la perte de masse osseuse et de résistance osseuse liée à l'âge ;
- Il améliore les indices cliniques de la cyphose ;
- Il améliore la composition corporelle (augmente la masse maigre et diminue le pourcentage de masse grasse) et augmente la force musculaire des membres ;
- Il augmente l'indice de masse maigre squelettique qui est un déterminant majeur de la sarcopénie ;
- Il améliore la force fonctionnelle, l'équilibre et la vitesse de marche et diminue donc le risque de chutes ;
- Il réduit le risque de l'installation de la sarcopénie et ou de l'ostéo-sarcopénie (Hu et coll. 2023).

En synthèse, la prévalence de l'ostéoporose est fréquente chez les hommes âgés de 65 ans et plus. Le risque de mortalité après une fracture de l'extrémité supérieure du fémur est plus élevé par rapport aux femmes. Par conséquent, l'approche préventive de l'ostéoporose qui est basée sur l'augmentation du pic de masse osseuse doit être envisagée chez les hommes.

3. Importance et déterminants du pic de masse osseuse

3.1 Définition et importance du pic de masse osseuse

Le pic de masse osseuse peut se définir comme la quantité de tissu osseux présente à la fin de la maturation squelettique (Bonjour et coll. 1995). En pratique, il s'agit du pic de

DMO car c'est la DMO qui est le facteur le plus corrélable à la résistance osseuse et au risque fracturaire. Ce pic suscite beaucoup d'intérêt car il est un déterminant important du risque de fracture ostéoporotique à l'âge adulte (Bonjour et coll. 1995). La masse de tissu osseux est simplement la différence entre la masse obtenue à la fin de la maturité et celle qui est perdue avec le vieillissement (Bonjour et coll. 1995).

A partir d'un petit nombre d'études transversales dans lesquelles les DMO et le CM0 ont été mesurés au niveau de l'avant-bras et du rachis lombaire par DXA, il a été démontré que le pic de DMO dans les deux sexes, dans toutes les races et dans tous les sites squelettiques est atteint vers les 35 ans quels que soient les conditions environnementales (Bonjour et coll. 1995). Néanmoins, des études plus récentes indiquent que le pic de masse osseuse a lieu entre l'âge de 16 et 25 ans (Bonjour et coll. 2009 ; Chevally et coll. 2022 ; Rizzoli et coll. 2010 ; Rizzoli et coll. 2001). En effet, 95 % de la masse osseuse adulte est formée à la fin de l'adolescence (Rizzoli et coll. 2010). En se basant sur les études épidémiologiques, il a été démontré qu'une augmentation de dix pour cent du pic de masse osseuse (ou une déviation standard) peut réduire le risque de fracture de cinquante pour cent après la ménopause (Rizzoli et coll. 2010). De même, cette augmentation d'une déviation standard retarde l'apparition de l'ostéoporose densitométrique de 13 ans en moyenne (Rizzoli et coll. 2010). Ainsi, cette analyse théorique indique que le pic de masse osseuse pourrait être le facteur le plus important pour la prévention de l'ostéoporose plus tard dans la vie. Les stratégies qui visent à augmenter le pic de masse osseuse sont donc très pertinentes pour prévenir l'ostéoporose et les fractures ostéoporotiques plus tard dans la vie (Chevally et coll. 2022 ; Rizzoli et coll. 2010 ; Rizzoli et coll. 2001). Fait important, dans le large éventail des valeurs de DMO du col fémoral, peu de variation se produit au cours de la vie adulte dans les Z-scores et les percentiles individuels (Bonjour et coll. 2009). Ainsi, une seule mesure de DMO réalisée notamment à l'âge du pic de masse osseuse est indicative du risque fracturaire plus tard dans la vie (Bonjour et coll. 2009).

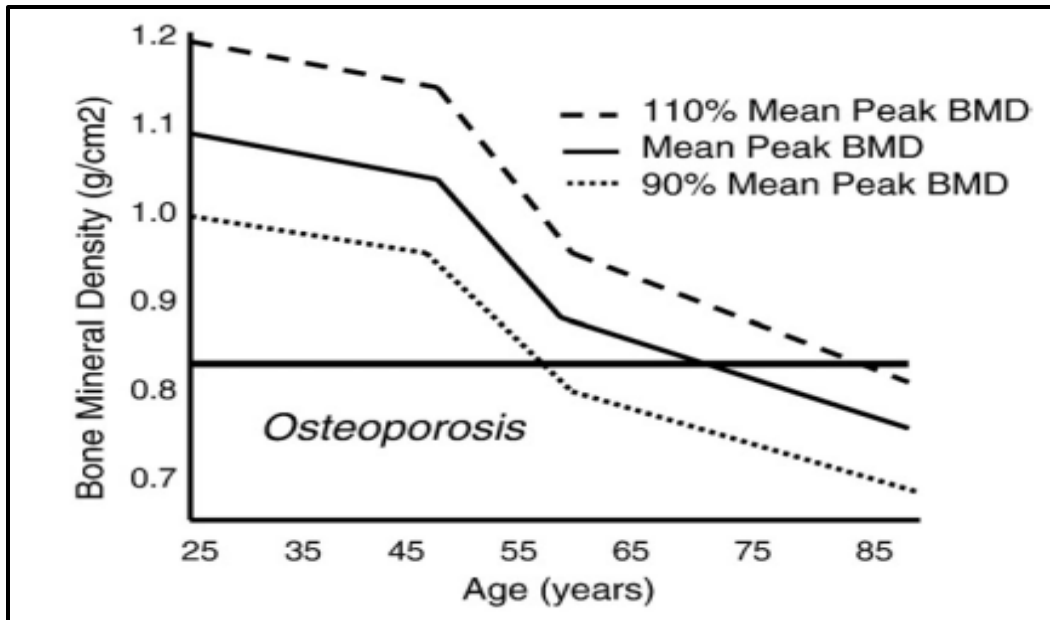


Figure 17 : Simulation de l'influence du pic de masse osseuse sur l'âge auquel la densité minérale osseuse peut atteindre le seuil diagnostique de l'ostéoporose (Rizzoli et coll. 2010).

3.2 Déterminants du pic de masse osseuse

Les facteurs génétiques expliquent 50 à 85 % de la variabilité de la DMO ; ces pourcentages peuvent varier en fonction du site osseux étudié et de son contenu en os cortical et os trabéculaire (Chevally et coll. 2022). Les facteurs génétiques expliquent également 80 % de la variabilité de la masse maigre et 65 % de la variabilité de la masse grasse (Nguyen et coll. 1998). Un certain nombre de gènes a été identifié (Chevally et coll. 2022).

Les déterminants de l'accumulation de la masse osseuse au cours de la croissance incluent des facteurs génétiques, le sexe, la nutrition (les apports en calcium et en protéines), les facteurs endocriniens, les forces mécaniques et l'exposition à d'autres facteurs de risque. Étant donné que les facteurs environnementaux et comportementaux représentent 20 à 40 % de la variabilité du pic de masse osseuse, l'optimisation des facteurs déterminants associés au renforcement de la structure osseuse et du pic de masse osseuse est d'une grande importance. Un apport suffisant en calcium et en

protéines et une activité physique avec mise en charge sont nécessaires pour une acquisition optimale du pic de masse osseuse et pour contribuer à prévenir la perte osseuse et les fractures liées à l'âge plus tard dans la vie. En revanche, l'exposition à certains facteurs de risque d'ostéoporose comme le tabagisme, la consommation excessive d'alcool et la prise de glucocorticoïdes limite l'acquisition optimale de la masse osseuse.

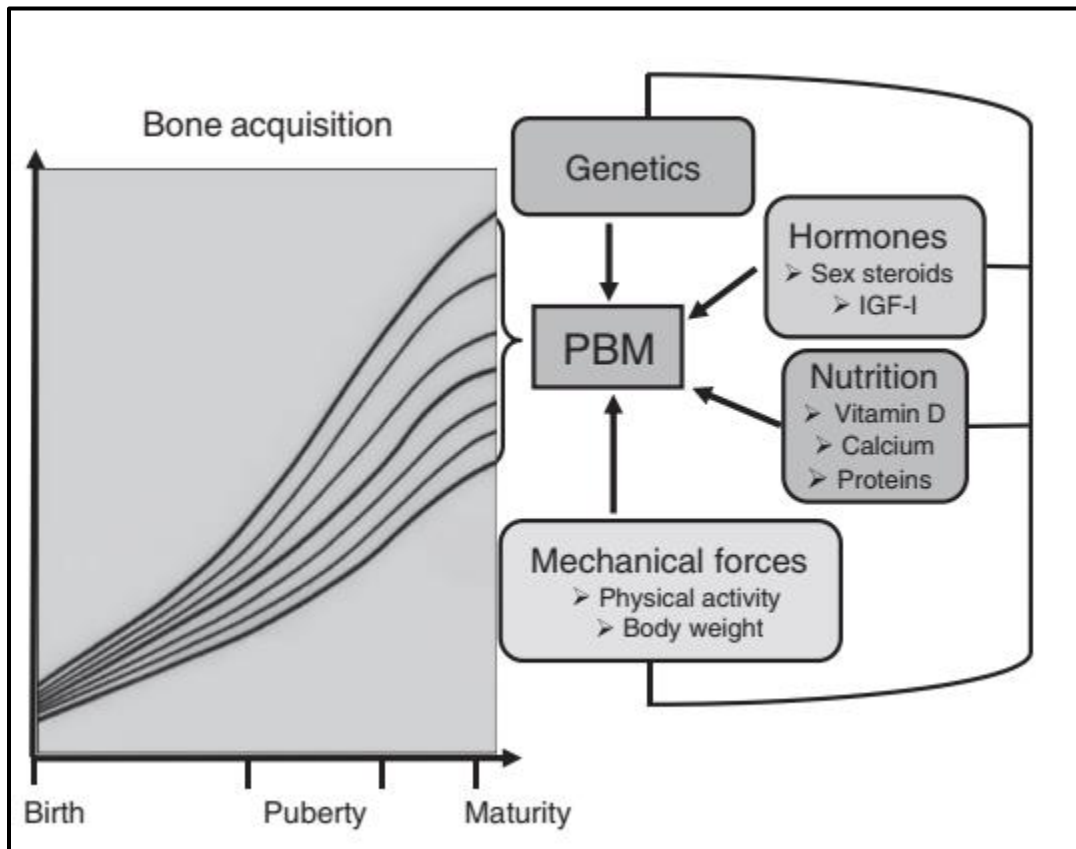


Figure 18 : Les déterminants du développement de la masse osseuse et de la résistance osseuse de la naissance à la maturité (Bonjour, 2016).

Les cellules osseuses sont sensibles aux contraintes mécaniques (y compris le poids corporel et les activités physiques à charges). Le poids corporel est considéré comme un déterminant positif de la DMO (Bonjour, 2016). Les ostéocytes sont sensibles aux signaux biophysiques ; une adaptation osseuse s'installe (Karlsson et Rosengren, 2020). Une simple charge mécanique de courte durée est suffisante pour initier une réaction d'adaptation (Karlsson et Rosengren, 2020). La réponse ostéogénique la plus favorable

est réalisée par une activité de mise en charge surtout si cette dernière est répétée de façon périodique, par l'intermédiaire de contraintes musculaires multidirectionnelles (Karlsson et Rosengren, 2020). Ce sujet sera abordé en détails dans le chapitre suivant. Les contraintes mécaniques affectent aussi les paramètres géométriques et micro-architecturaux (Nikander et coll. 2005).

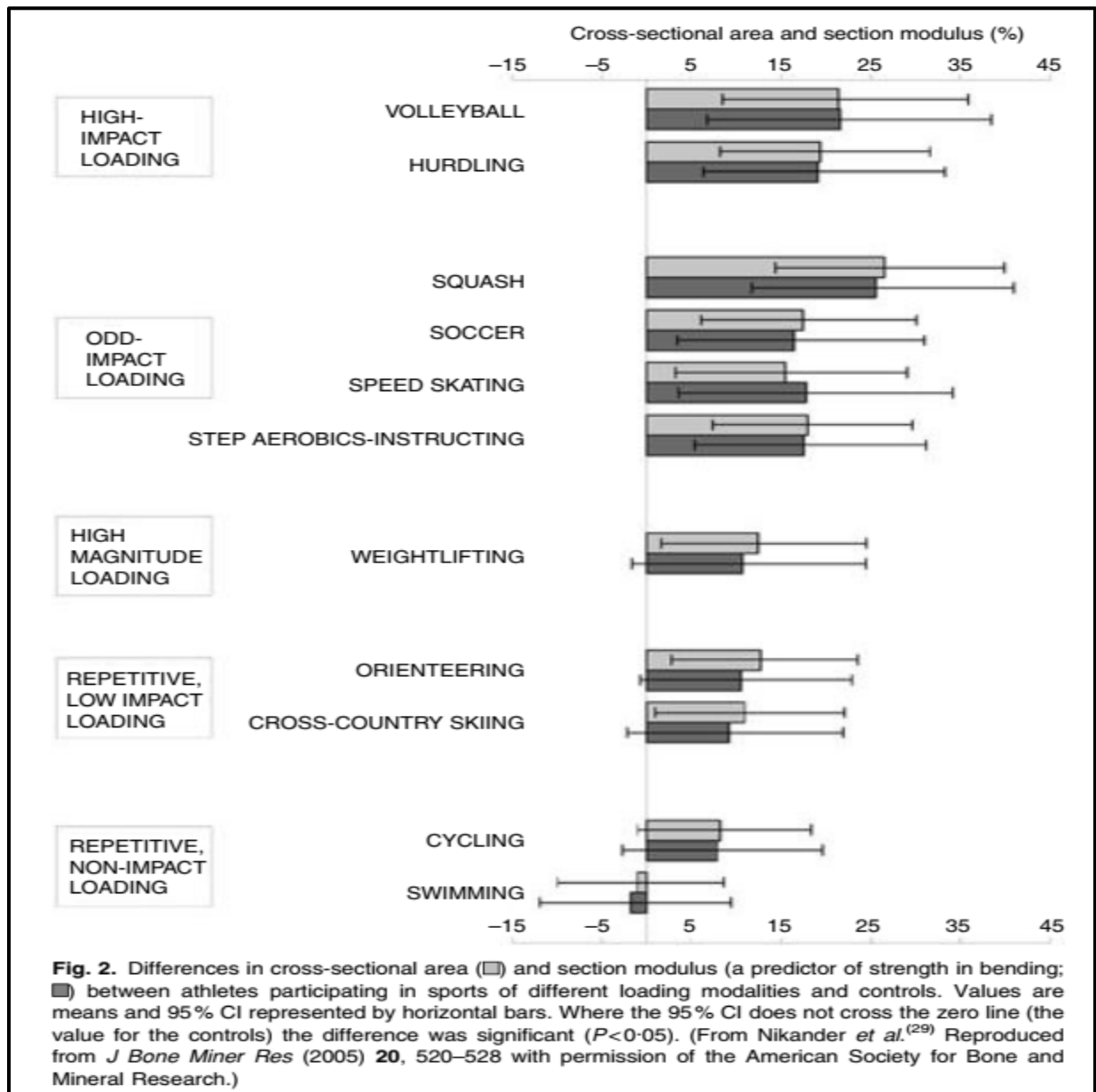


Figure 19 : Valeurs de CSA et de Z chez des femmes adultes en fonction du type de pratique sportive (Nikander et coll. 2005).

Il faudra bien noter que ces quatre facteurs (génétiques, hormonaux, nutritionnels et mécaniques) sont interconnectés ; par exemple, un apport accru en protéines améliore l'impact positif de l'activité physique sur la croissance osseuse (Bonjour, 2016).

Avec le vieillissement, l'impact des protéines alimentaires sur l'anabolisme musculaire et squelettique joue un rôle important dans la prévention de l'ostéoporose et de la sarcopénie. Un apport riche en protéines alimentaires associé à des apports suffisants en calcium et en vitamine D contribue à atténuer à la fois la perte osseuse liée à l'âge et la propension à tomber, réduisant ainsi le risque de fracture de fragilité (Bonjour, 2011).

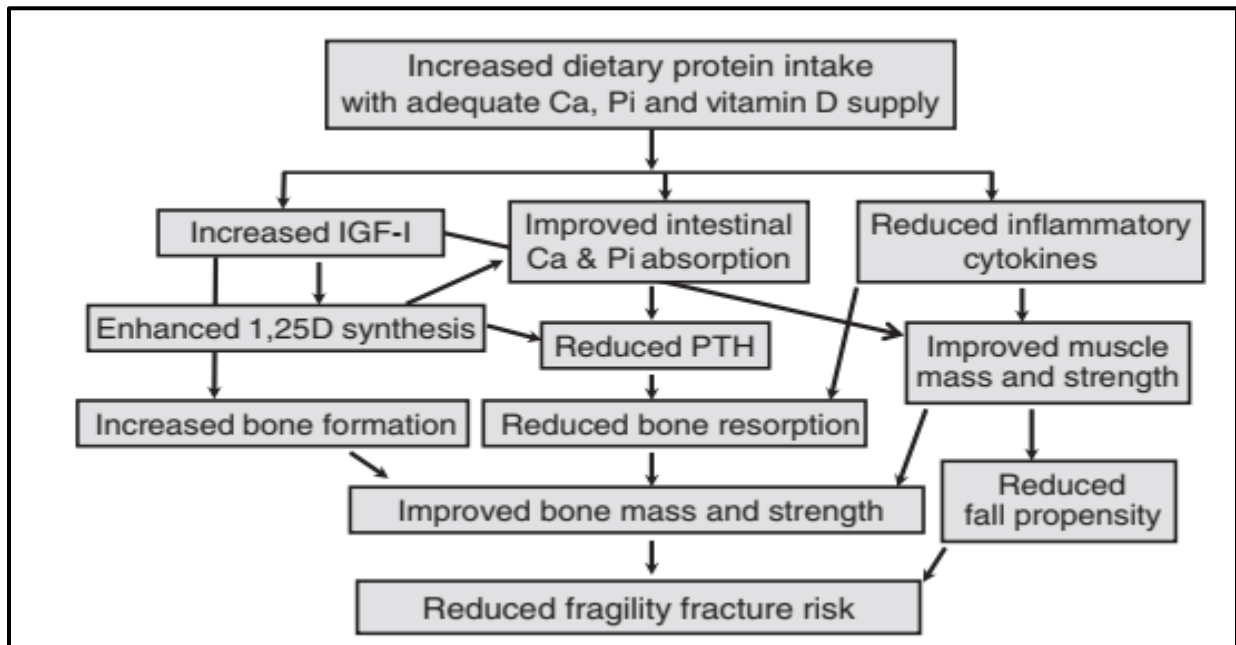


Figure 20 : Effets positifs des apports protéiques sur la santé musculosquelettique des personnes âgées (Bonjour, 2016).

La consommation des produits laitiers ralentit la perte osseuse associée à l'âge (Rizzoli, 2022). Ainsi, la DMO au niveau du col fémoral et du rachis lombaire est supérieure chez les sujets qui consomment des produits laitiers par rapport aux sujets végans (Rizzoli,

2022). La fonction musculaire est aussi améliorée chez les personnes âgées consommant des produits laitiers (Rizzoli, 2022). Les marqueurs de résorption osseuse, la PTH et l'incidence de fracture sont aussi inférieurs chez les personnes âgées consommant des produits laitiers par rapport à ceux qui n'en consomment pas (Rizzoli, 2022). La figure suivante résume les mécanismes par lesquels la consommation des produits laitiers influence positivement le métabolisme osseux (Rizzoli et Biver, 2018).

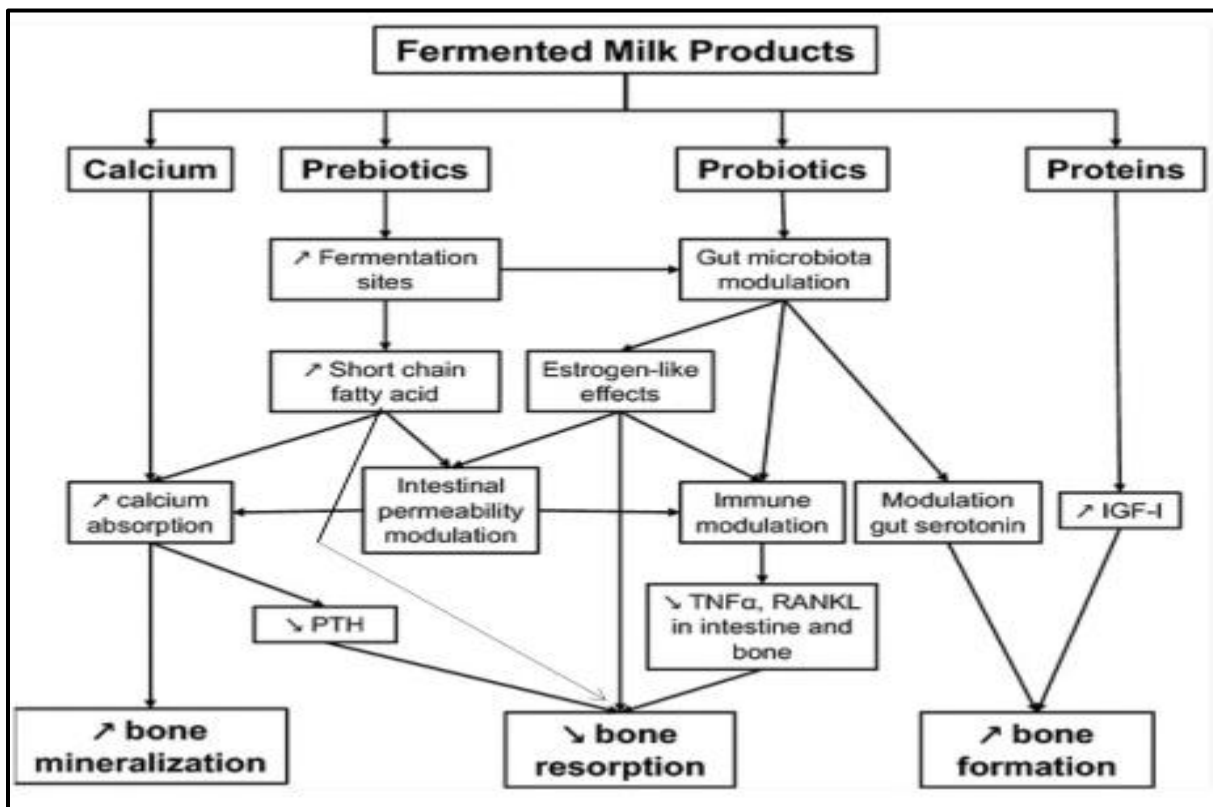


Figure 21 : Influence de la consommation des produits laitiers fermentés sur le métabolisme osseux (Rizzoli et Biver, 2018).

3.3 Evolution de la masse osseuse en fonction de l'âge

Chez les adolescentes, le gain de masse osseuse diminue rapidement après la ménarche ; Il n'y pas d'autres gains statistiques observés 2 ans plus tard dans des sites tels que le rachis lombaire ou le col fémoral (Bonjour et coll. 2009). Chez les adolescents de sexe masculin, le gain de DMO ou de CMO qui s'accélère particulièrement entre 13 et 17 ans,

diminue sensiblement par la suite, même s'il reste significatif entre 17-20 ans au niveau de la DMO et du CMO du rachis lombaire et de la DMO de la diaphyse fémorale médiane (Bonjour et coll. 2009). En revanche, aucun gain significatif n'est observé pour la DMO du col fémoral à cet âge. Chez les sujets qui ont atteint le stade pubertaire P5 et ont grandi de moins de 1 cm/an, un gain de masse osseuse significatif persistait chez les hommes mais pas chez les femmes (Bonjour et coll. 2009). Cela suggère l'existence d'une différence importante entre les sexes dans l'ampleur et/ou la durée du phénomène dit de « consolidation » qui contribue au pic de masse osseuse (Bonjour et coll. 2009).

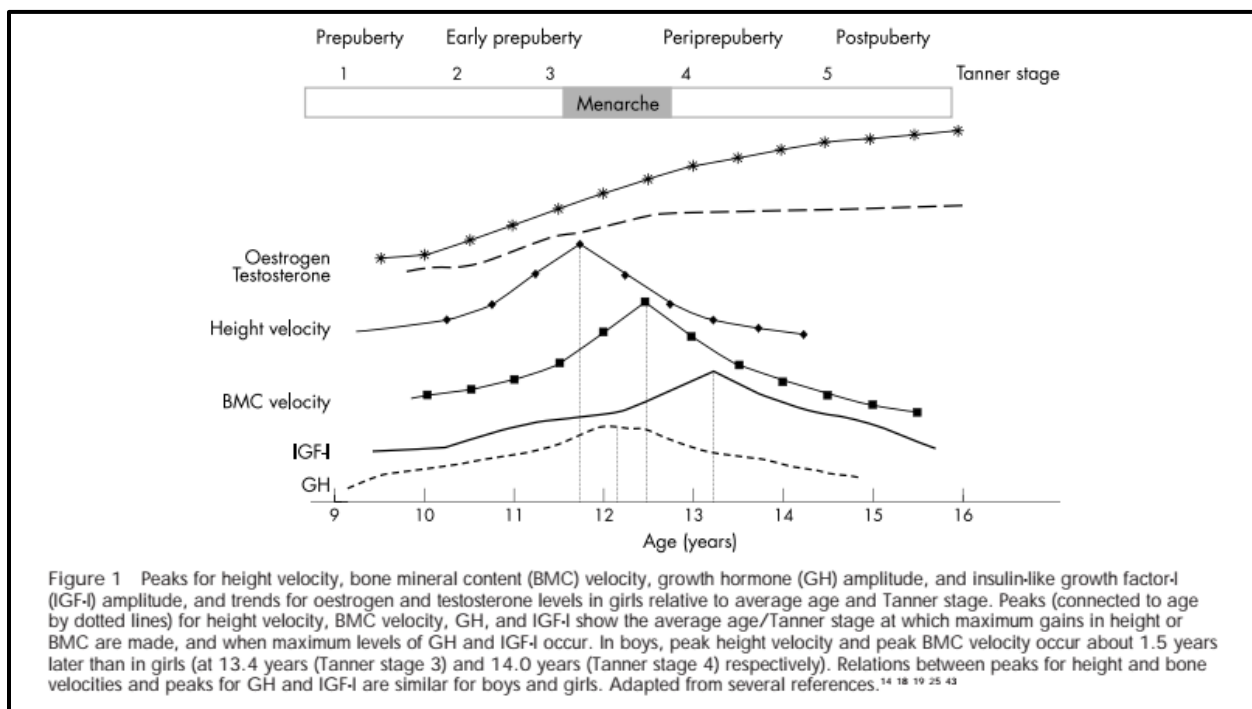


Figure 22 : Cinétique de l'acquisition de la masse osseuse chez les adolescentes (Mackelvie et coll. 2002)

A la fin de l'adolescence, la minéralisation osseuse présente 90 à 95 % de son pic. Le pic de masse osseuse se maintient entre 20 et 30 ans. Ce pic diminue ensuite d'environ 0,5 à 1 % par an après l'âge de 35 ans avec une accélération de cette décroissance chez les femmes pendant les deux ou trois ans qui suivent la ménopause (Monroche, 2011).

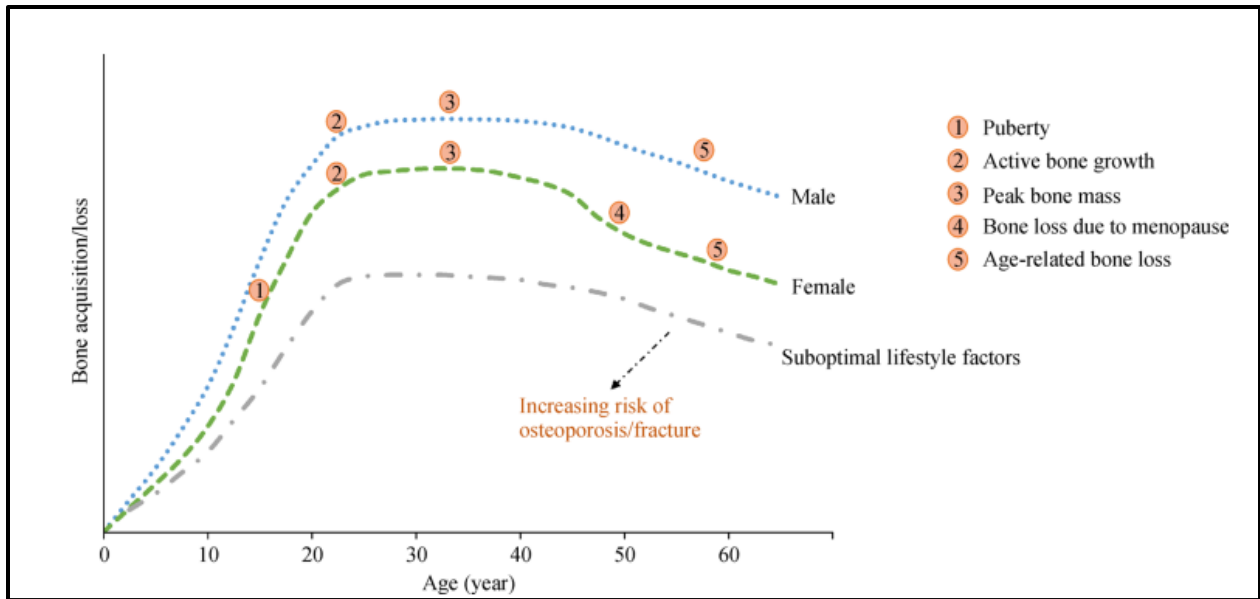


Figure 23 : Evolution de la masse osseuse en fonction de l'âge (Zhu et Zheng, 2020).

Le vieillissement affecte également la géométrie osseuse et les paramètres de microarchitecture comme cela apparait dans la figure ci-dessous (Rizzoli et coll. 2001).

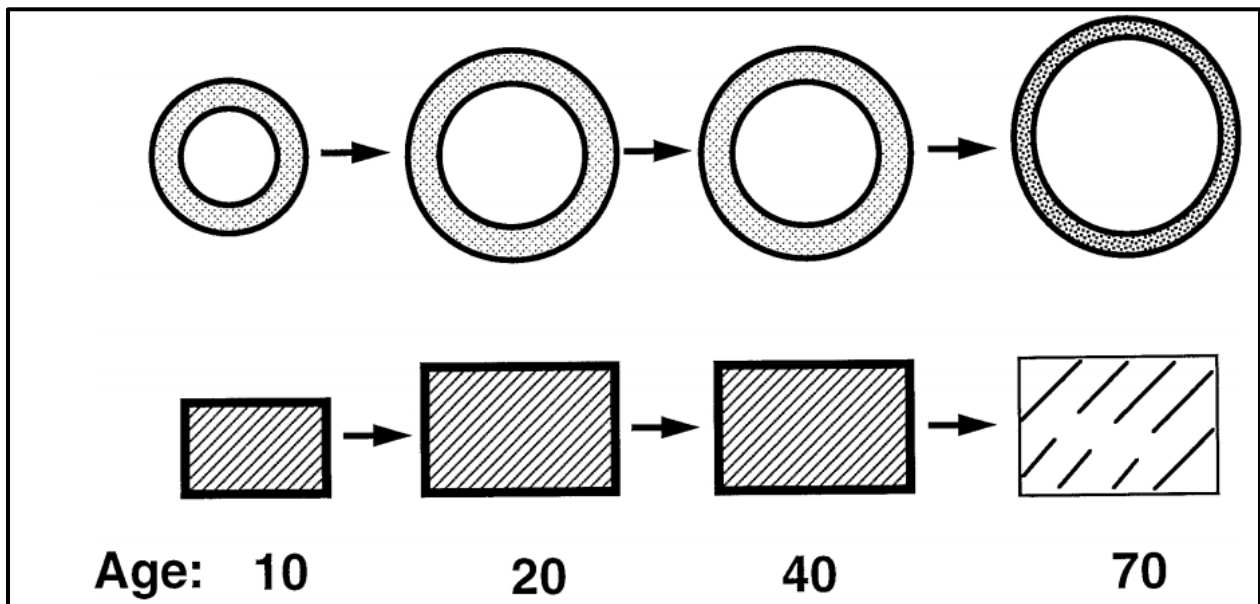


Figure 24 : Représentation schématique de l'évolution de l'os cortical et de l'os trabéculaire en fonction de l'âge (Rizzoli et coll. 2001).

4. Effets des contraintes mécaniques sur le tissu osseux

4.1 Mécanismes d'action des contraintes mécaniques sur le tissu osseux

La Loi de Wolff stipule que la croissance et le remaniement des os se produisent en réaction aux forces et aux sollicitations qui s'exercent sur eux. L'adaptation osseuse aux variations de contraintes a été élaborée par Frost (Frost, 1987 ; Frost et coll. 1998) sous la forme d'un « mécanostat » grâce auquel l'os adapte son niveau de modelage (ou de remodelage) lorsqu'il saisit un changement de régime de contraintes. Cette adaptation est encadrée par des seuils correspondant à des niveaux de stress mécaniques en-deçà et au-delà desquels le changement de régime a un effet nul ou délétère sur la masse osseuse.

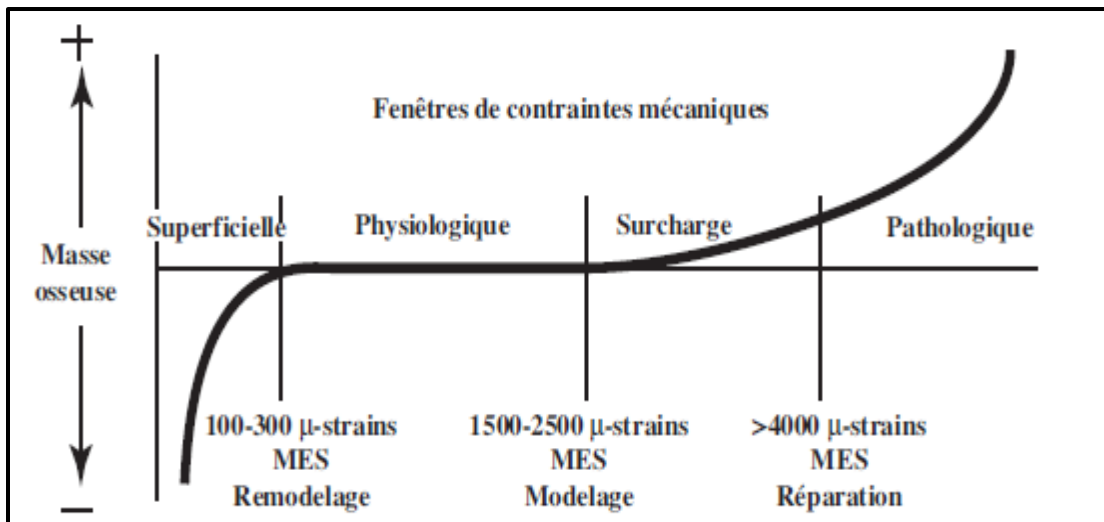


Figure 25 : Fenêtres de contraintes mécaniques définies par la théorie du mécanostat de Frost (d'après Forwood et Turner, 1995)

Un système présent dans le tissu osseux intègre les variations de contraintes et induit l'activité de remodelage afin de rétablir la masse et la structure osseuse en adéquation avec le stress mécanique auquel le site osseux est soumis (Frost et coll. 1998).

La théorie de la mécanotransduction ostéocytaire stipule qu'il y a une transformation du signal mécanique (déformation osseuse) en un signal biochimique. Les ostéocytes et les ostéoblastes peuvent être sensibles aux contraintes mécaniques.

L'activité physique, lorsqu'elle induit des contraintes mécaniques sur le squelette, exerce des effets positifs sur la minéralisation osseuse pendant la croissance. La définition d'un exercice ostéogénique suit cinq principes : la surcharge, la spécificité, la réversibilité, l'influence du capital de départ et l'entraînabilité. Le principe de surcharge précise que les contraintes doivent être d'une amplitude supérieure aux contraintes subies habituellement par le squelette (>3 G). La variété des contraintes est également un facteur déterminant, qu'elle concerne les sites osseux sur lesquels les forces s'appliquent (principe de spécificité) ou bien la direction de ces mêmes forces. Le principe de réversibilité fait référence à la perte du bénéfice osseux en cas d'arrêt de l'exercice. Ce principe s'appliquerait principalement aux bénéfices osseux obtenus à l'âge adulte, et beaucoup moins à ceux obtenus durant l'enfance.

On sait depuis les années 1970 que le tissu osseux répond à une stimulation dynamique, mais pas à une stimulation statique (Hert et coll. 1971). Plus les forces appliquées sur l'os sont élevées, plus la déformation est grande et plus l'anabolisme osseux est important (Burr et coll. 1996 ; Milgrom et coll. 2000a ; Milgrom et coll. 200b). En revanche, les cellules osseuses deviennent désensibilisées lorsque la stimulation mécanique est appliquée sur une longue période, sans interruption. Umemura et coll. (1997) ont démontré que des rats entraînés à sauter plusieurs fois par jour augmentaient la masse de leur tibia et de leur fémur, mais que la réponse anabolique était saturée après 40 répétitions.

4.2 Effets de l'activité physique sur le tissu osseux en fonction du type d'activité physique

Une bonne maturation osseuse nécessite un environnement gravitationnel (Bourrin et coll. 1995). L'activité physique caractérisée par des contraintes biomécaniques élevées (comme le basket-ball, le volley-ball, la gymnastique et d'autres activités) a un effet ostéogénique plus important que l'activité physique caractérisée par le métabolisme énergétique (Egan et coll. 2006). L'activité sans charge ou impact, comme la natation, ne

semble pas avoir d'effets ostéogéniques significatifs (Egan et coll. 2006). Néanmoins, certains nageurs professionnels pourraient avoir une DMO élevée du fait d'une pratique sportive supplémentaire comme la musculation. La pratique de la musculation et/ou de l'haltérophilie exerce des effets positifs sur le CMO, la DMO et les paramètres de géométrie osseuse ; ces effets sont en partie médiés par la masse maigre (Going et Laudermik, 2009). Notons enfin qu'il y a des effets positifs des phénomènes vibratoires à faible énergie et haute fréquence sur le métabolisme osseux (Verschuere et coll. 2004 ; Sehmisch et coll. 2009).

| Summary of whole-body and lumbar spine BMD values for cross-sectional studies in young adult eumenorrhoeic females | | | | | | |
|--|----------------------------|------------|----------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Sport | Author | Age | <i>n</i> | Whole-body (% above controls) | Femoral neck (% above controls) | Lumbar spine (% above controls) |
| Volleyball | Lee et al. (1995) [5] | 19.4 ± 1.3 | 11 | 6.9 | 11.4 | 17.9 |
| | Fehling et al. (1995) [4] | 19.5 ± 1.3 | 8 | 16.2 | 17.4 | 19.6 |
| | Risser et al. (1990) [17] | 19.6 ± 1.5 | 12 | – | – | 14.7 |
| Basketball | Lee et al. (1995) [5] | 19.9 ± 1.6 | 7 | 7.8 | 20.0 | 13.7 |
| | Risser et al. (1990) [18] | 19.6 ± 1.1 | 9 | – | – | 12.2 |
| Rugby Union | Current study | 21.4 ± 1.9 | 30 | 13.5 | 21.7 | 16.5 |
| Weightlifting | Heinonen et al. (1993) [7] | 24.6 ± 4.6 | 18 | – | 10.1 | 14.8 |
| Body builders | Heinrich et al. (1990) [6] | 25.7 ± 5.2 | 11 | – | 14.7 | 12.0 |
| Squash | Heinonen et al. (1995) [8] | 25.0 ± 3.9 | 18 | – | 18.9 | 14.8 |
| Gymnastics | Fehling et al. (1995) [4] | 19.6 ± 1.0 | 13 | 9.9 | 17.4 | 14.7 |
| Netball | Current study | 20.7 ± 1.3 | 20 | 6.3 | 14.5 | 12.4 |
| Speed skaters | Heinonen et al. (1995) [8] | 21.4 ± 8.6 | 14 | – | 6.2 | 7.4 |
| Runners | Duncan et al. (2002) [19] | 17.6 ± 1.4 | 15 | 8.6 | 9.7 | 12.2 |
| | Current study | 21.5 ± 2.6 | 11 | 6.3 | 13.3 | 3.0 |

Results are represented as percentage greater than sedentary controls.

Figure 26 : Résumé des principales études transversales menées sur l'influence de l'activité physique sur la DMO chez les femmes réglées (Egan et coll. 2006).

4.3 Effets de l'activité physique sur le tissu osseux en fonction de l'âge du début de la pratique

Une bonne maturation osseuse nécessite un environnement gravitationnel (Bourrin et coll. 1995). L'activité physique semble améliorer le gain de masse osseuse (Courteix et coll. 1998).

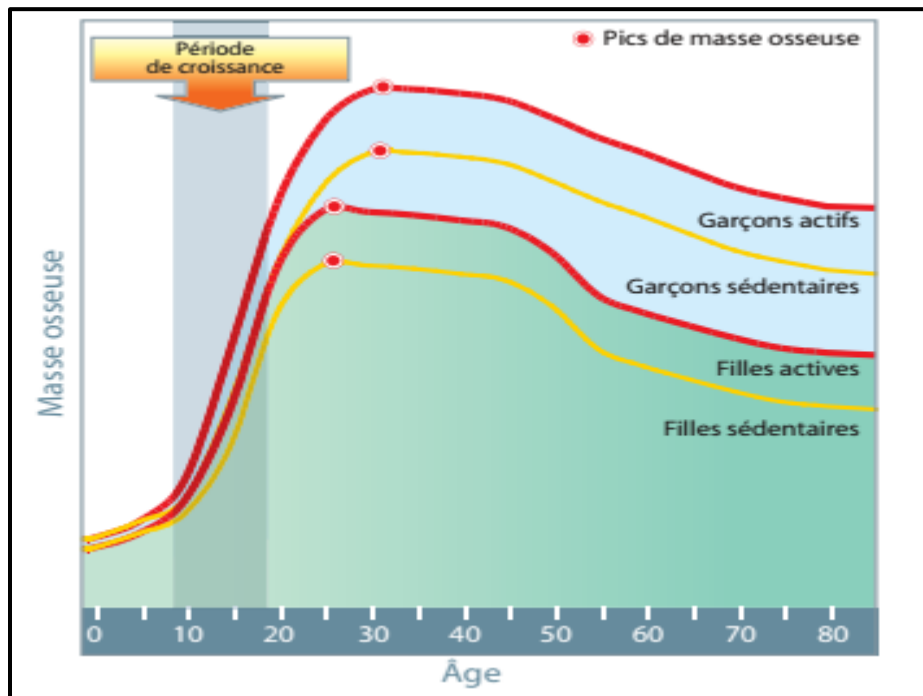


Figure 27 : Evolution de la masse osseuse selon l'âge et le niveau d'activité physique avant et pendant la puberté (Blanchet et coll. 2008).

Une pratique sportive multi-activités doit être encouragée dès l'enfance, et poursuivie tout au long de la vie afin de maximaliser puis de maintenir le capital osseux. La spécialisation précoce du jeune sportif doit faire l'objet d'une attention particulière, notamment dans les sports qui combinent un volume d'entraînement élevé (>20 h par semaine) et une restriction énergétique excessive. L'exercice pratiqué avant la puberté peut apporter des bénéfices en densité osseuse durant la vie adulte ; il s'agit des effets résiduels de l'activité physique sur le tissu osseux (Bass et coll. 1998). Cet effet a été mis en évidence après la pratique de la gymnastique, de l'athlétisme, de football, de la musculation et plusieurs autres sports à impacts (Bass et coll. 1998 ; Finianos et coll. 2021 ; Kontulainen et coll.

2002 ; Meyer et coll. 2013 ; Minett et coll. 2018 ; Nordström et coll. 2004 ; Nordström et coll. 2006 ; Uzunca et coll. 2005 ; Valdimarsson et coll. 2005 ; Van Langendonck et coll. 2003 ; Winters et Snow, 2000).

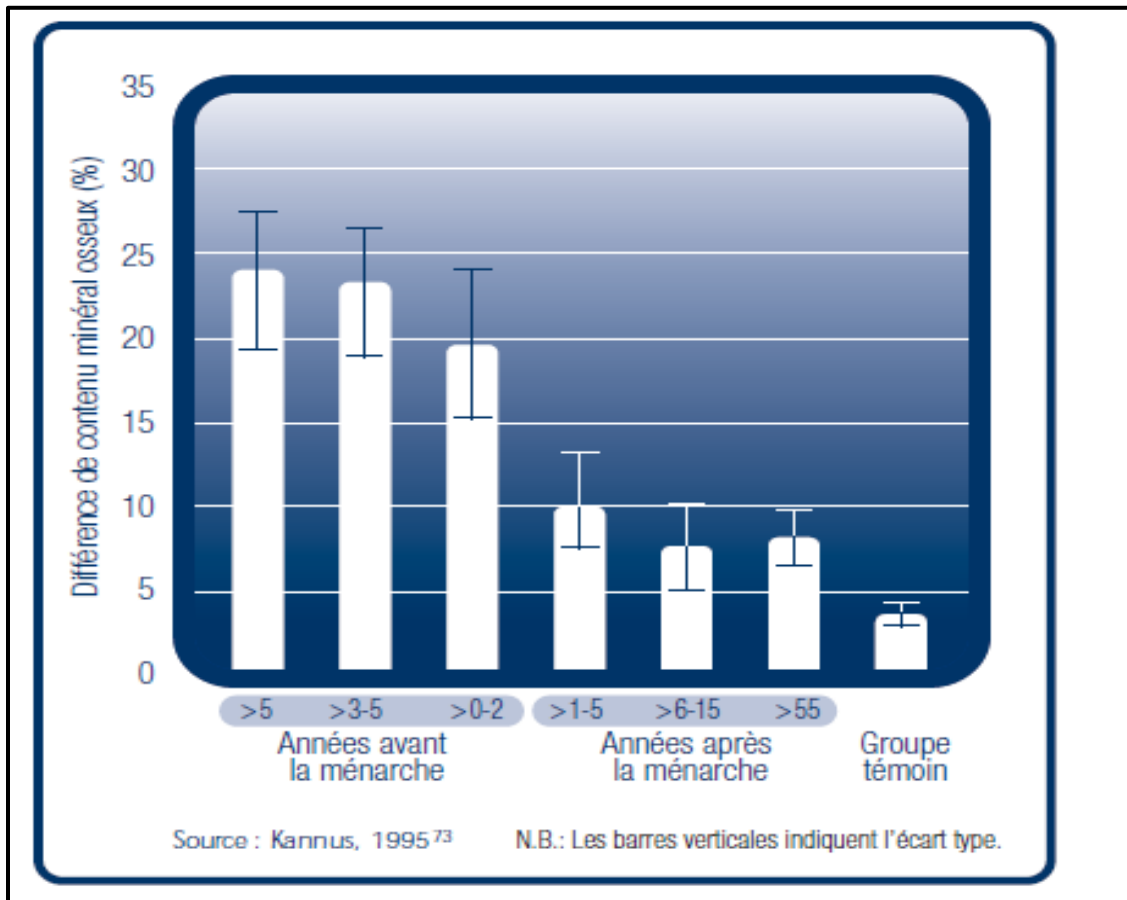


Figure 28 : Différence de CMO entre bras dominant et bras non-dominant chez des joueuses de tennis selon l'âge du début de la pratique (Kannus et coll. 1995).

Enfin, l'exercice physique peut prévenir et réduire les risques de fracture après la ménopause. En effet, l'exercice physique réduit la perte de DMO, améliore l'équilibre et augmente la masse maigre squelettique appendiculaire prévenant ainsi l'ostéoporose et la sarcopénie. Les deux figures suivantes illustrent les effets de l'entraînement en force sur la DMO en fonction de l'âge.

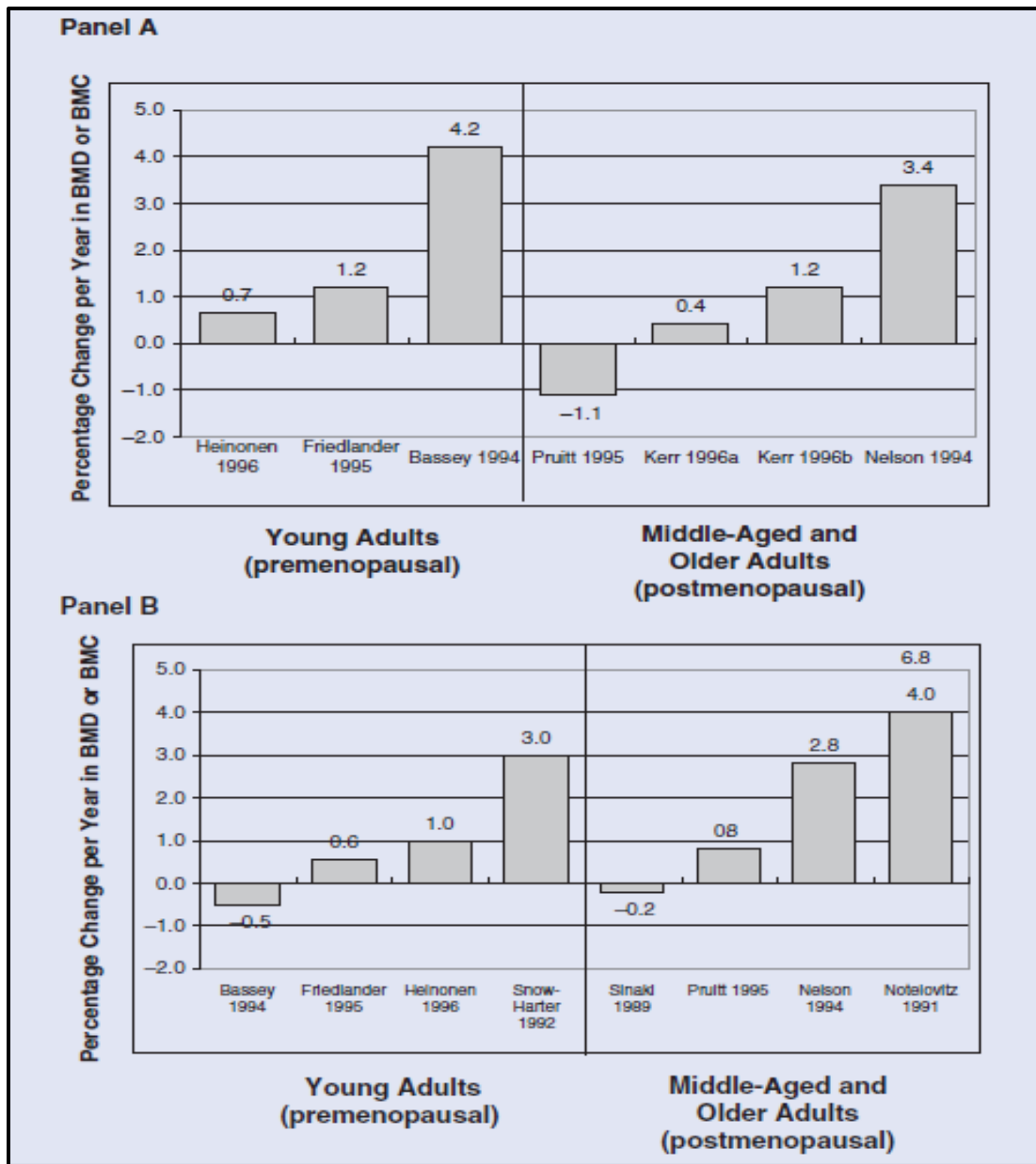


Figure 29 : Effet de l'entraînement en force sur le CMO et la DMO du trochanter et du rachis lombaire (Going et Lauderamik, 2009).

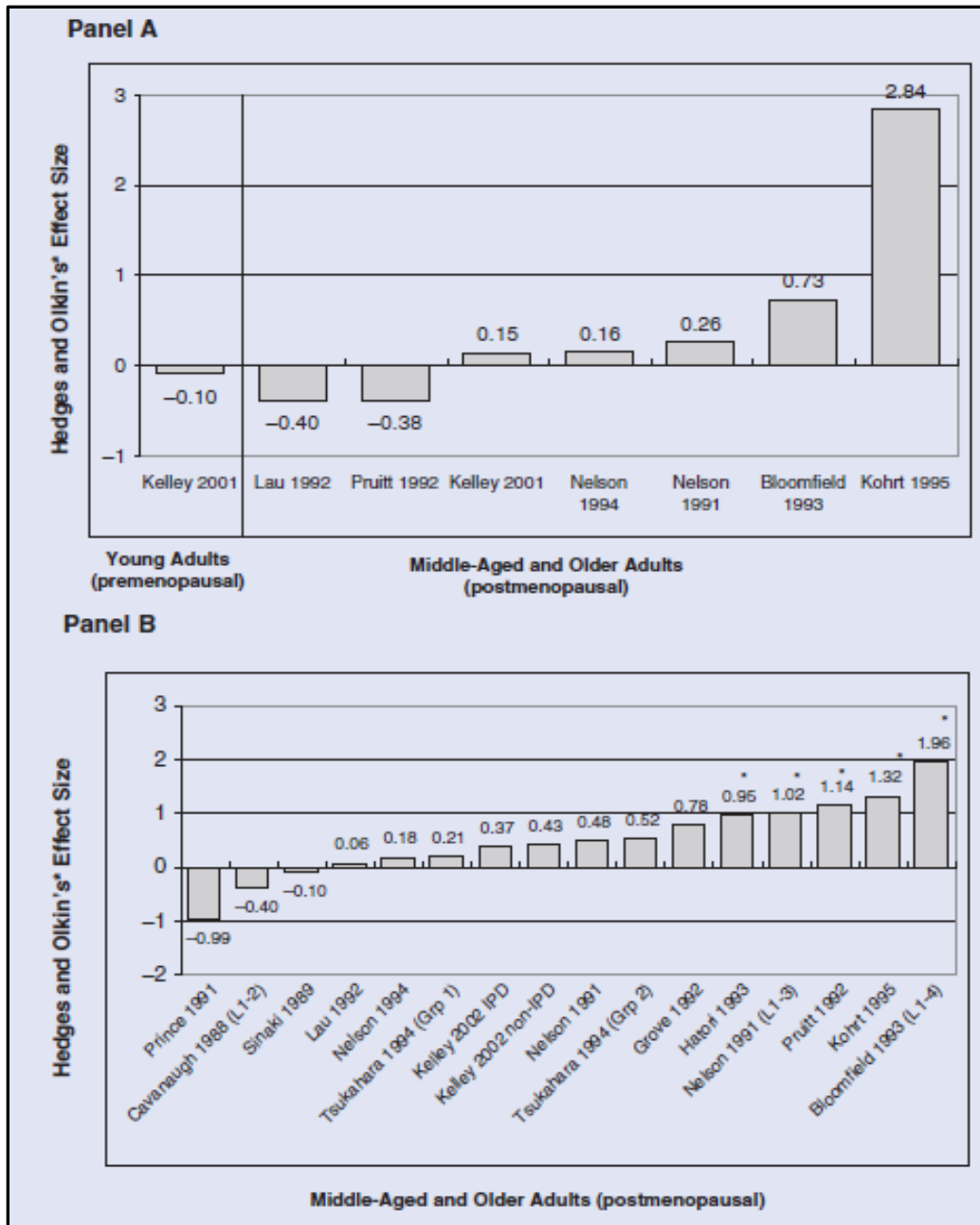


Figure 30 : Tailles d'effets de l'entraînement en force sur le CMO et la DMO du trochanter et du rachis lombaire (Going et Lauderamik, 2009).

4.4 L'hyperactivité et le tissu osseux

L'hyperactivité sportive (> 20 heures par semaine) peut entraîner une perte de poids et de masse maigre. Cet ensemble d'éléments conduit à des désordres hormonaux pouvant

impacter la santé osseuse. Chez la femme, Une diminution des taux d'œstrogènes est observée. Chez l'homme, on observe des risques d'insuffisance gonadique. Chez la femme, le retour des règles peut survenir avec la diminution des activités sportives. Chez l'adolescent, un retard de puberté est aperçu dans ce cas. Chez l'adolescente, des périodes d'aménorrhée qui ont pour conséquence une diminution de la DMO, laquelle peut être aggravée par des troubles du comportement alimentaire comme l'anorexie et/ou l'addiction. (Daly et coll. 2005 ; Baxter-Jones et Maffulli, N. 2002).

Box 1
Definition of osteoporosis and low bone mineral density in children and adolescents (ages 5–19)

Diagnosis of osteoporosis in children and adolescents requires the presence of both a clinically significant fracture history and BMD z score less than or equal to -2.0 . The term, osteoporosis, should not be used without a clinically significant fracture history.

- A clinically significant fracture history is 1 or more of the following:
 - Vertebral compression fracture
 - Two or more long bone fractures by the age of 10
 - Three or more long bone fractures at any age up to age 19 years
- The term, osteopenia, should not appear in pediatric DXA reports. In absence of a clinically significant fracture history, low BMD is the preferred term for pediatric DXA reports when the BMD score is less than or equal to -2.0 .
- A BMD z score greater than -2.0 does not preclude the possibility of skeletal fragility and increased fracture risk.

* ACSM defines low BMD as z score that is less than -1.0 in female athletes in weight-bearing sports.²

Data from Gordon CM, Leonard MB, Zemel BS. 2013 Pediatric position development conference: executive summary and reflections. J Clin Densitom 2014;17:219–24.

Figure 31 : Définition de l'ostéoporose et de l'ostéopénie chez les enfants et les adolescents (Gordon et coll. 2013).

4.5 Applications pour la conception des programmes d'activité physique très ostéogéniques

Les activités d'exercice les plus ostéogéniques semblent être celles qui ont des amplitudes de déformation élevées et/ou des taux de déformation élevés, tels que les sauts (pour les membres inférieurs) et les sports de raquette (pour le haut du corps). Les

activités répétitives, comme la course, peuvent être plus ostéogéniques si le mouvement continu est séparé par de courtes périodes de repos (par exemple, entraînement par intervalles). Bien que de haute fréquence, une charge de faible ampleur semble être ostéogénique lorsqu'elle est appliquée via des plates-formes de force, on ne sait pas si toute activité physique spécifique imiterait cette voie. Néanmoins, les activités physiques intégrant une augmentation de l'activité musculaire peut être positive et plus bénéfique pour la santé osseuse que l'inactivité.

5. Influence de la pratique du sprint sur les paramètres osseux

5.1 Sprint et forces de réaction au sol

La littérature scientifique rapporte des valeurs de forces de réaction rencontrées dans plusieurs activités physiques (Groothausen et coll. 1997). Il apparaît que le sprint est associé à des forces de réaction au sol équivalentes à 5 fois le poids corporel (Groothausen et coll. 1997).

| Activity | Ground reaction force (multiples of body weight) | References |
|------------------------|--|---------------------------|
| Aerobics | 2.8 | Michaud et al. (19) |
| Basketball | 4.1–6.0 | Valiant and Cavanagh (34) |
| Gymnastics: somersault | 11.0 | Bruggeman (4) |
| Judo | 1.2–1.6 | Tezuka et al. (32) |
| Soccer: shooting | 2.4 | Asami and Nolte (2) |
| Softball: hitting | 2.1 | Roberts et al. (24) |
| Sprinting | 1.6 | Messier and Owen (18) |
| | 5.0 | Winter and Bishop (38) |
| | 2.0–5.0 | Mechelen (17) |
| Volleyball | 2.1 | Bates et al. (3) |
| Walking | 4.8 | Adrian and Laughlin (1) |
| | 1.6 | Cochran (5) |

Figure 32 : Forces de réaction au sol rencontrées dans plusieurs activités physiques (Groothausen et coll. 1997).

Dolan et coll. (2006) ont calculé deux indices de contraintes mécaniques au niveau de la hanche et du rachis (Hip BLU and Spine BLU). On remarque que le sprint est considéré parmi les sports les plus ostéogéniques ; il est associé à des contraintes mécaniques élevées aussi bien au niveau de la hanche qu'au niveau du rachis lombaire (Dolan et coll. 2006 ; Groothausen et coll. 1997). Ainsi les BLU associés au sprint sont supérieurs par rapport à ceux de la course à pieds mais inférieurs à ceux associés à la gymnastique (Dolan et coll. 2006).

TABLE 2. Comparison of newly calculated hip and spine bone loading units and ground reaction forces.

| Activity | Ground Reaction Force* (\times Body Weight) | Bone Loading Unit: Hip | Bone Loading Unit: Spine |
|-----------------|--|------------------------|--------------------------|
| Yoga | 0.5–1.0 | 4.0 | 5.0 |
| Biking—road | 0.5–1.0 | 4.1 | 4.6 |
| Biking—mountain | | 7.3 | 11.1 |
| Swimming | 0.5–1.0 | 4.0 | 4.0 |
| Walking | 1.6–2.0 | 7.0 | 4.0 |
| Softball | 2.0 | 8.0 | 11.1 |
| Skating | 1.0–3.0 | 7.4 | 4.4 |
| Running | 1.0–3.0 | 8.1 | 8.1 |
| Aerobics | 2.8–3.0 | 8.0 | 5.0 |
| Soccer | 3.0–5.0 | 8.4 | 8.3 |
| Sprinting | 2.0–6.0 | 11.7 | 11.1 |
| Plyometrics | 4.0–7.0 | 12.0 | 11.0 |
| Volleyball | 4.8–10.0 | 11.9 | 11.3 |
| Basketball | 4.1–10.0 | 11.7 | 8.4 |
| Gymnastics | 11.0 | 12.0 | 12.0 |

*As reported in Groothausen et al. (16).

Figure 33 : Forces de réaction au sol et unités de contraintes mécaniques (Dolan et coll. 2006)

5.2 Valeurs de DMO chez les sprinteurs

Peu d'études se sont intéressées à comparer les valeurs de DMO des sprinteurs par rapport à d'autres sportifs. Agostinete et coll. (2020) ont comparé les valeurs de DMO et de DMOA chez des adolescents pratiquant plusieurs types de sport et inactifs. Cette étude montre principalement que les sprinteurs ont une DMO élevée au niveau du corps entier et des membres inférieurs (Agostinete et coll. 2020). Les valeurs de masse maigre

sont aussi très élevées chez les sprinteurs (Agostinete et coll. 2020). De plus, les valeurs de DMOA retrouvées chez les sprinteurs sont parmi les plus élevées (Agostinete et coll. 2020). Ces indices qui reflètent la DMO volumétrique sont particulièrement intéressants chez les adolescents (Agostinete et coll. 2020).

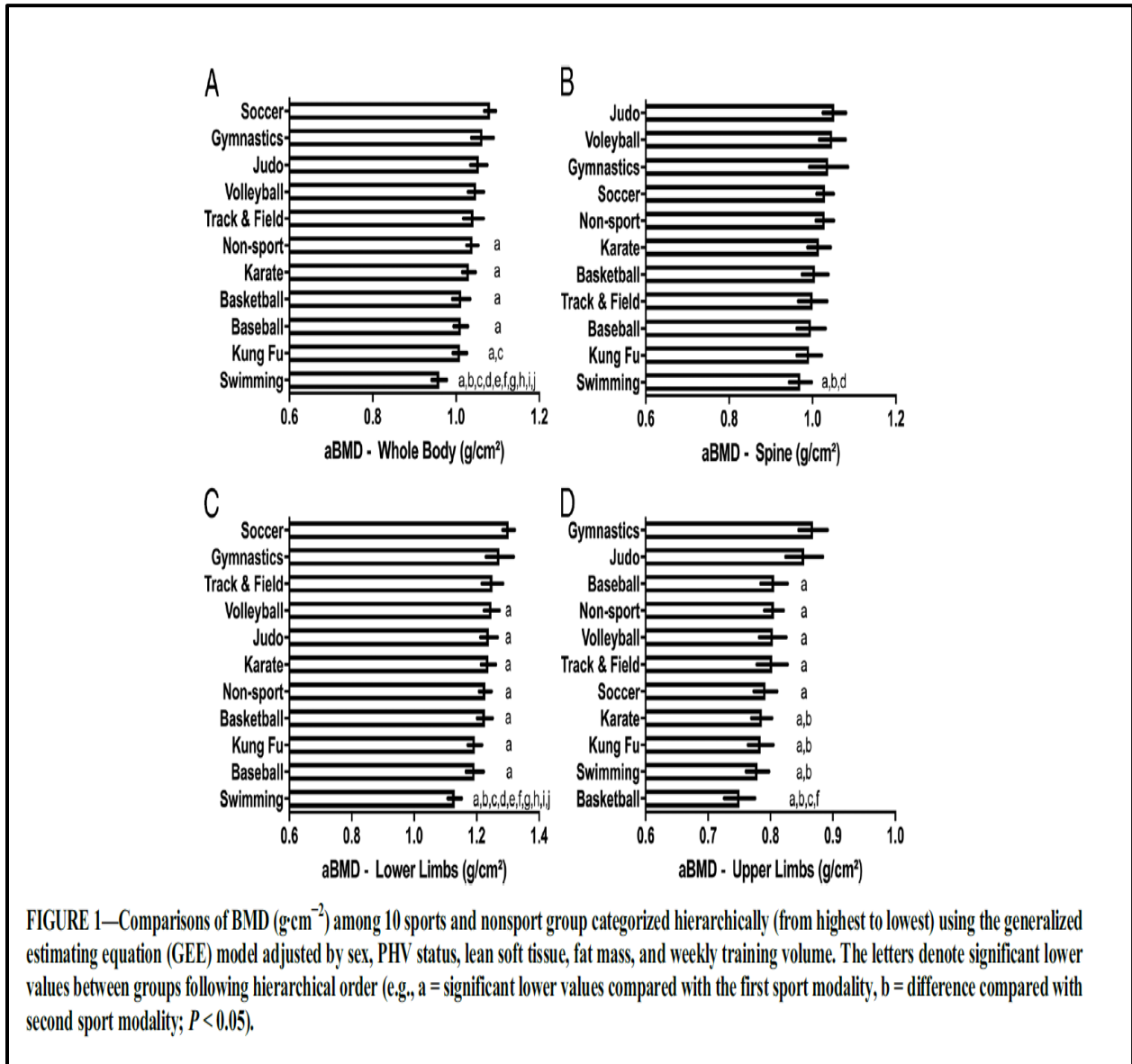


Figure 34 : Valeurs de DMO totales et régionales chez 11 groupes d'adolescents pratiquant plusieurs types de sports (Agostinete et coll. 2020)

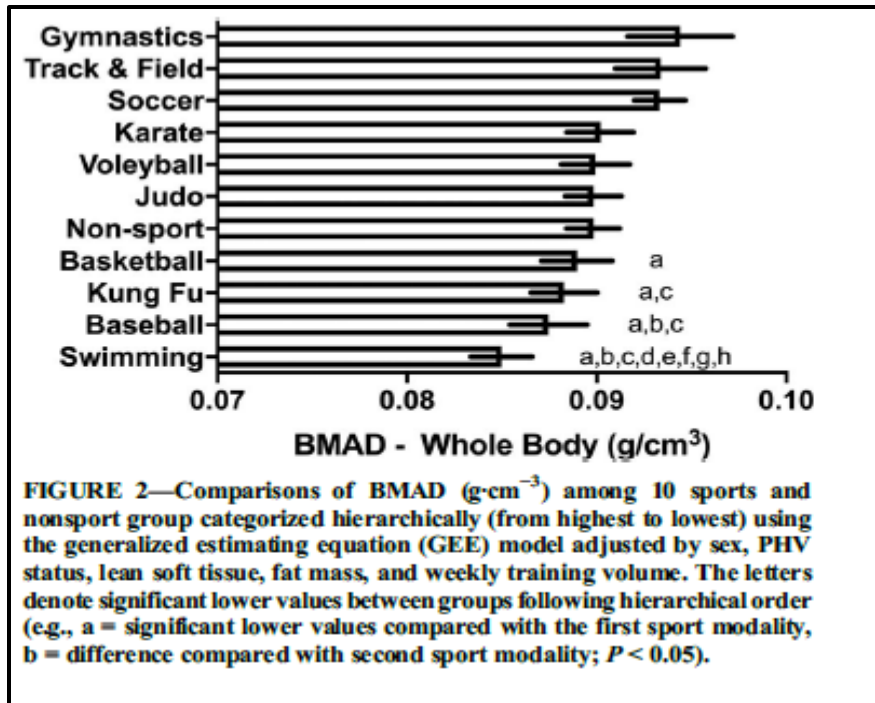


Figure 35 : Valeurs de DMOA chez 11 groupes d'adolescents pratiquant plusieurs types de sports (Agostinete et coll. 2020)

Le sprint se différencie de la course à pieds de longue distance au niveau de plusieurs paramètres physiologiques. En particulier, les sprinteurs ont une DMO et une masse maigre beaucoup plus importantes que les coureurs (Kusy et coll. 2015).

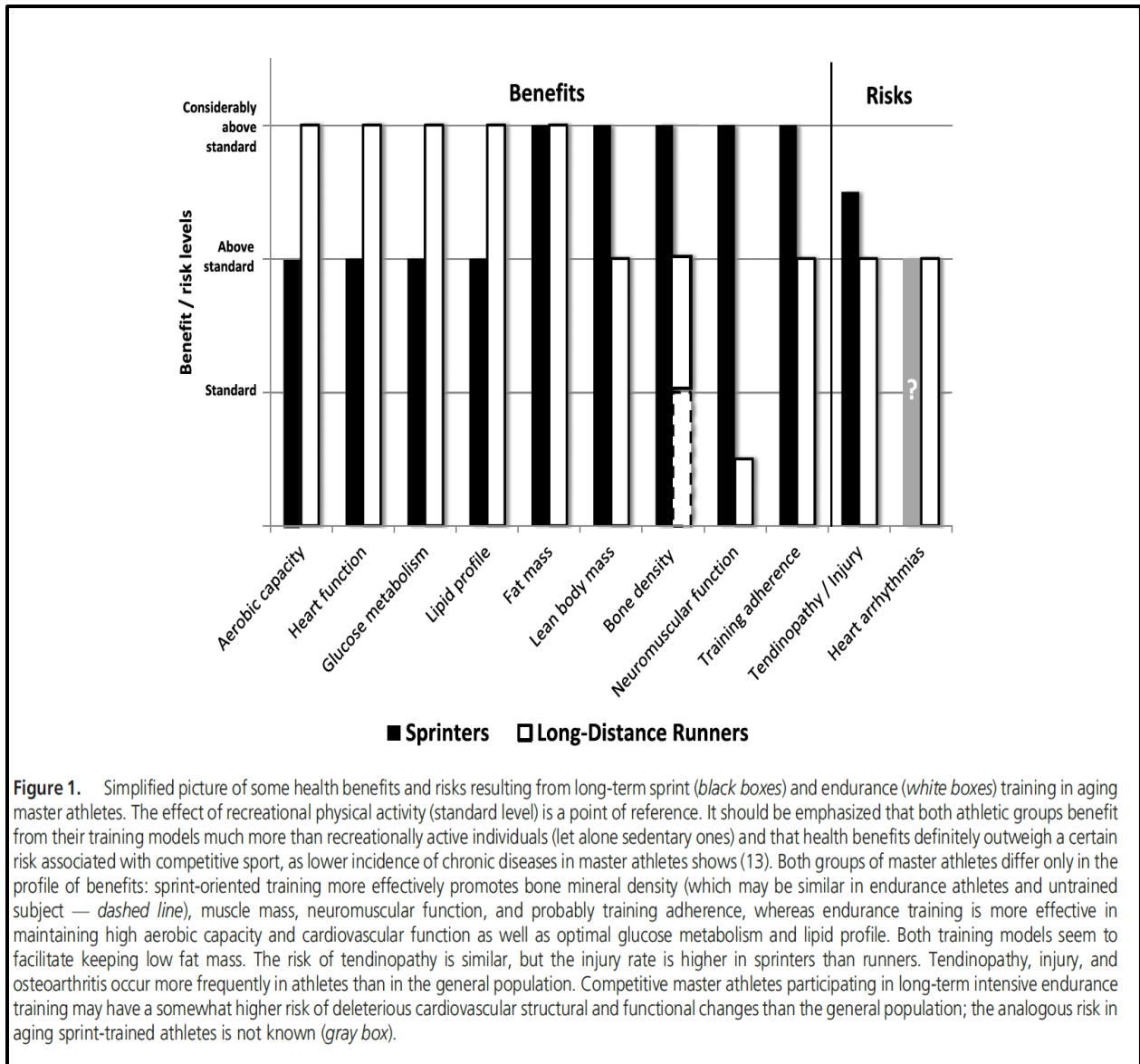


Figure 36 : Bénéfices et risques de la pratique de la course à pieds et du sprint chez les seniors (Kusy et coll. 2015).

5.3 Etudes explorant les relations entre la performance en sprint et les paramètres osseux

Le tableau 1 résume les résultats de plusieurs études ayant exploré les relations entre la performance en sprint et les paramètres osseux.

Tableau 1 : Etudes explorant les relations entre la performance en sprint et les paramètres osseux

| Auteurs et années | Population | Méthodes | Résultats | Conclusions |
|--------------------------|----------------------------------|---|---|---|
| Mello et coll. (2023) | 160 enfants âgés de 11 à 16 ans. | DXA + paramètres de performance physique comme la vitesse, la puissance et l'agilité. | Les paramètres de performance étaient positivement corrélés à la DMO au niveau lombaire, de la hanche et des membres inférieurs. | Les qualités de puissance musculaire et de vitesse sont des déterminants positifs de la DMO chez les enfants. |
| Mello et coll. (2022) | 160 enfants âgés de 11 à 16 ans. | DXA + paramètres de performance physique comme la vitesse, la puissance et l'agilité. | Une analyse statistique basée la surface sous la courbe (ROC) conforme le lien étroit entre deux paramètres physique (sprint et le lancer de medecine-ball) de performance et la DMO. | Le sprint et le lancer de medecine-ball peuvent prédire la DMO faible chez les enfants. |

| | | | | |
|---------------------------|---------------------------------------|--|---|---|
| Finianos et coll. (2021a) | 35 hommes âgés de 42 à 55 ans. | DXA + paramètres de performance physique comme la vitesse, la force et la puissance. Calcul des indices : CSI, BSI et ISI. | La performance en 10 mètres sprint était positivement corrélée au CSI, au BSI et à l'ISI. | La capacité d'accélération est un déterminant positif des indices de résistance osseuse du col fémoral. |
| Finianos et coll. (2021b) | 29 jeunes hommes et 31 jeunes femmes. | Mesures DXA + calcul CSI, BSI et ISI. Evaluation de la performance en sprint (20 mètres). | La performance en sprint (m/sec) était positivement corrélée au CSI, au BSI et à l'ISI dans les deux sexes. Ces corrélations ont disparu après ajustement pour le poids corporel. | Cette étude démontre que la performance au 20 mètres sprint est un facteur corrélable aux indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI) chez les jeunes adultes. |
| Finianos et coll. (2020) | 50 hommes âgés en moyenne de 50 ans. | Mesures DXA + géométrie osseuse du col fémoral. Evaluation de la performance en sprint (10 mètres). | La performance en sprint (m/sec) était positivement corrélée à la DMO du rachis lombaire, à la DMO du col fémoral, à la CSA, au CSMI et au SI. | La performance au 10 mètres sprint est un facteur corrélable à la DMO au niveau du rachis lombaire et du col fémoral. |

| | | | | |
|------------------------------|---|---|---|---|
| Gómez-Bruton et coll. (2020) | 92 enfants âgés de 3 à 5 ans. | Tomographie périphérique + paramètres de performance physique comme la force, la vitesse et l'agilité. | La performance physique était positivement corrélée à la résistance osseuse et à la structure osseuse mais pas à la DMO volumétrique. | La performance physique est un déterminant positif de la masse osseuse, de la structure osseuse et de la résistance osseuse au niveau du tibia. |
| Moradell et coll. (2020) | 129 participants (94 femmes et 35 hommes âgés en moyenne de 76,2 ± 5,4 ans) | Tomographie périphérique au niveau du tibia + DXA + paramètres de performance physique comme la force, la vitesse de marche et l'agilité. | Les paramètres de performance physique étaient plus corrélés aux paramètres osseux chez les hommes que chez les femmes. | L'agilité et la vitesse de marche sont des déterminants positifs de la résistance osseuse chez les hommes âgés. |

DXA : Absorptiométrie biphotonique à rayons-X ; CSI : Compressive strength index ; BSI : Bending strength index ; ISI : Impact strength index ; CSA : Surface de la section transversale ; CSMI : Moment d'inertie de la surface transversale ; SI : Strength index.

5.4 Etudes transversales explorant les paramètres osseux chez les sprinteurs

Le tableau 2 résume les résultats de plusieurs études transversales ayant exploré les paramètres osseux chez les sprinteurs.

Tableau 2 : Etudes transversales explorant les paramètres osseux chez les sprinteurs

| _Auteurs et années | Population | Méthodes | Résultats | Conclusions |
|---------------------------|---|---|--|---|
| Piasecki et coll. (2018) | 38 athlètes âgés (71 ± 7 ans) pratiquant le sprint, 149 athlètes âgés (70 ± 6 ans) pratiquant la course à pieds de longue distance et 59 sujets âgés (74 ± 5 ans) inactifs. | DXA + mesures de puissance musculaire + mesures des impacts par des accéléromètres. | La DMO était supérieure chez les sprinteurs par rapport aux athlètes d'endurance et aux sujets inactifs. Il n'y avait pas de différences au niveau de la DMO entre sprinteurs et athlètes d'endurance. | La pratique du sprint est associée à une augmentation de la DMO au niveau du rachis lombaire et de la hanche. |
| Ikedo et coll. (2016) | 37 adolescentes réparties en deux groupes : coureuses et sprinteuses. | DXA + questionnaires. | La DMO au niveau du corps entier sous-total et du rachis était supérieure chez les sprinteuses par rapport aux coureuses. | La masse maigre n'est pas totalement responsable des différences en DMO entre les deux groupes. Des facteurs nutritionnels et |

| | | | | |
|-----------------------------|--|---|--|---|
| | | | La masse maigre était positivement corrélée aux valeurs de DMO dans la population entière. | mécaniques seraient à l'origine des différences. |
| Korhonen et coll. (2014) | 83 sprinteurs (âge: 40-85 ans) et 19 hommes actifs (âge: 31-45 ans). | Tomographie quantitative osseuse périphérique (tibia) : analyse de la DMO volumétrique, de la structure osseuse et de la résistance osseuse. ANCOVA : ajustement pour le poids et la taille. | Les paramètres de santé osseuse étaient plus élevés chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs. | L'entraînement régulier de sprint a des effets positifs sur la structure osseuse et la résistance osseuse chez les hommes adultes et âgés. |
| Rantalainen et coll. (2014) | 67 sprinteurs et 60 hommes non sportifs appariés pour l'âge. | Tomographie quantitative osseuse périphérique (tibia) : analyse de la DMO volumétrique, de la structure osseuse et de la résistance osseuse. ANCOVA : ajustement pour le poids et la taille. | Les paramètres de résistance osseuse étaient supérieurs chez les sprinteurs par rapport aux hommes non sportifs. | L'entraînement habituel au sprint semble maintenir la solidité des os tibiaux, mais pas la répartition de la densité corticale radiale jusqu'à un âge avancé. La force des os fibulaires ne |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | semblait pas être affectée par le sprint habituel. |
|--|--|--|--|--|

DXA : Absorptiométrie biphotonique à rayons-X ; ANCOVA : Analyse de covariance.

5.5 Etudes longitudinales explorant les effets de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux

Le tableau 3 résume les résultats de plusieurs études ayant exploré les effets de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux.

Tableau 3 : Etudes longitudinales explorant les effets de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux

| Auteurs et années | Population | Méthodes | Résultats | Conclusions |
|--------------------------|--|---|---|--|
| Kamlé et coll. (2023) | 44 Jeunes hommes âgés entre 18 et 26 ans en surpoids : groupe expérimental (21 jeunes hommes) et groupe témoin (23 jeunes hommes). | Un an d'entraînement en sprint à raison de deux entraînements par semaine. Mesures DXA + performances physiques. | Interactions groupe * temps significatives pour le CMO CE, la DMO du rachis lombaire, la DMO hanche. Augmentations significatives du CMO CE et de la DMO du rachis lombaire. | L'entraînement en sprint d'un an augmente la DMO lombaire et le CMO du corps entier chez les hommes en surpoids. |

| | | | | |
|-------------------------|---|--|--|--|
| Ireland et coll. (2020) | 71 athlètes âgés en moyenne de 57 ans. | Etude de cohorte sur 4,2 ans en moyenne (2 entraînements hebdomadaires). | Tomographie quantitative osseuse périphérique (tibia) : analyse de la DMO volumétrique, de la structure osseuse et de la résistance osseuse. | Le maintien de la résistance osseuse en compression est plus marqué chez les sprinteurs par rapport aux coureurs. |
| Bennell et coll. (1997) | 50 athlètes de puissance, 61 athlètes d'endurance et 55 non athlètes. | Etude de cohorte sur 12 mois. DXA + questionnaires. | Les marqueurs de remodelage osseux n'étaient pas prédictifs des changements au niveau de la DMO. | Les gains osseux au niveau du rachis lombaire étaient supérieurs chez les sprinteurs par rapport aux coureurs. La réponse osseuse est site-spécifique. |

DXA : Absorptiométrie biphotonique à rayons-X ; ANCOVA : Analyse de covariance.

En résumé, la pratique du sprint se caractérise par des forces de réaction au sol importantes et supérieures à celles rencontrées dans plusieurs activités physiques. Les études menées sur les sprinteurs montrent qu'ils ont des valeurs de DMO supérieures par rapport aux sujets inactifs. Enfin, la performance en sprint semble être positivement corrélée à plusieurs paramètres de santé osseuse. Néanmoins, il n'y a pas à notre connaissance d'études ayant comparé les paramètres osseux chez des sprinteurs adultes et des hommes actifs.

Deuxième partie : Contribution personnelle

Méthodologie générale

1. Conception des études

Le tableau 4 décrit la conception des études préliminaires et des études principales menées dans le cadre de cette thèse.

Tableau 4 : Conception des études

| | Objectif | Résultats | Conclusions |
|----------------------|--|---|--|
| Etude préliminaire 1 | Explorer les effets du type d'entraînement physique sur les paramètres osseux chez les adolescentes. | 7 études ont été incluses dans la revue systématique ayant évalué différentes modalités d'entraînement. | L'entraînement pliométrique augmente le CMO au niveau du rachis lombaire et semble être l'entraînement le plus efficace pour l'optimisation de la masse osseuse chez les adolescentes. |
| Etude préliminaire 2 | Explorer la relation entre la force maximale en soulevé | La force maximale en soulevé de terre était positivement corrélée au | La force maximale en soulevé de terre est un déterminant |

| | | | |
|--------------------|--|--|---|
| | de terre et le CMO CO chez des hommes âgés sains. | CMO CE. Cette corrélation a persisté même après ajustement pour l'âge. | indépendant du CMO CE chez les hommes âgés. |
| Etude principale 1 | Comparer les paramètres de santé osseuse chez des jeunes sprinteurs et des jeunes hommes actifs. | La DMO du rachis lombaire, la DMO de la hanche, la détente verticale et la force maximale des membres inférieurs étaient supérieures chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs. | La DMO du rachis lombaire et la DMO de la hanche sont plus élevées chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs. |
| Etude principale 2 | Comparer les paramètres de santé osseuse chez des hommes actifs et des anciens sprinteurs. | Les détentes horizontale et verticale, la performance en sprint et la VO ₂ max étaient supérieures chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs. Après ajustement pour l'âge, le poids corporel, l'activité physique totale et l'activité physique intense, les valeurs de CMO CE étaient supérieures chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs. | Un passé de sprinteur est associé à une meilleure masse osseuse. |

CMO CE : Contenu minéral osseux du corps entier ; DMO : Densité minérale osseuse ; VO_2 max : Consommation maximale d'oxygène.

2. Recrutement des sujets

Au total, 128 hommes ont participé à cette thèse dont 52 hommes âgés entre 18 et 34 ans (26 sprinteurs vs. 26 hommes actifs), 44 hommes âgés entre 40 et 50 ans (22 anciens sprinteurs vs. 22 hommes actifs) et 32 hommes âgés entre 60 et 85 ans. Les sujets recrutés étaient non-fumeurs, en bonne santé et n'avaient pas d'antécédents médicaux pouvant affecter le métabolisme osseux. Le recrutement des sprinteurs a eu lieu dans plusieurs clubs d'athlétisme situés dans la région de Beyrouth, Liban. Les sprinteurs recrutés étaient des sprinteurs confirmés participant à des compétitions nationales et régionales. Ces sprinteurs avaient pratiqué le sprint pour au moins 5-10 ans à une raison de 4 à 6 entraînements hebdomadaires (6 à 9 heures d'entraînement par semaine). Les sujets dans les groupes dits « actifs » pratiquaient au moins 150 minutes par semaine d'activité d'endurance d'intensité modérée ou au moins 75 à 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue ou une combinaison équivalente d'activités d'intensité modérée et soutenue tout au long de la semaine. Les anciens sprinteurs étaient âgés entre 40 et 50 ans et avaient pratiqué le sprint pour au moins 10 ans à une raison de 4 à 6 entraînements hebdomadaires (6 à 9 heures d'entraînement par semaine). Le consentement éclairé des participants a été obtenu. Tous les tests réalisés étaient en accord avec la déclaration d'Helsinki qui concerne les recherches menées sur l'être humain.

3. Tests réalisés

3.1 Tests anthropométriques

Le poids et la taille ont été mesurés, et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. La composition corporelle a été évaluée par DXA (Diagnostic Medical Systems, Pérois, France).

3.2 Mesures de la DMO

Le CMO et la DMO ont été mesurés par DXA (Diagnostic Medical Systems, Pérols, France). Ces mesures ont été réalisées au niveau du corps entier, du rachis lombaire (L1-L4), de la hanche totale et de l'avant-bras. Les valeurs de Z-scores et de T-scores ont été calculées.

3.3 Tests de performance physique

Deux séances de familiarisation espacées de 72 heures ont précédé le début des tests physiques. Les tests physiques ont été réalisés sur 3 jours espacés d'une semaine. La première séance de tests était consacrée à la mesure de la force maximale. La deuxième séance de tests était consacrée à la mesure de la consommation maximale d'oxygène. La troisième séance de tests était consacrée à la mesure des tests athlétiques. La force maximale (1-RM) en soulevé de terre, en développé-couché et en squat a été directement mesurée en respectant les instructions de la NCSA (Baechle, 2008). La consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) a été mesurée directement par un outil valide (Cosmed Fitmate pro device (version 2.20)) en réalisant un test triangulaire (augmentation de 20 à 30 watts par palier de deux minutes) sur bicyclette ergométrique (Siemens-Elema RE 820; Rodby Elektronik AB, Enhorna, Sweden). Plusieurs tests athlétiques ont été réalisés : détente horizontale sans élan (en utilisant un ruban-mètre), détente verticale selon le test de Sargent (Harman et coll. 1991), triple sauts et sprint 20 mètres (en utilisant des cellules photoélectriques de type BROWER).

3.4. Questionnaires

La consommation calcique journalière, la consommation protéique journalière, la qualité de sommeil, le niveau d'activité physique (IPAQ), la qualité de vie et le scores BPAQ ont été évalués par des questionnaires valides (Buysse et coll. 1989 ; Fardellone et coll. 1991 ; Hallal et Victora, 2004 ; Morin et coll. 2005 ; Ware et coll. 1996 ; Weeks et Beck, 2008).

3.5 Analyse statistique

Les données sont exprimées en moyenne plus ou moins la déviation standard. L'existence d'une éventuelle corrélation a été précisée par le test de Pearson. Les différences entre les groupes ont été précisées par le test-t de Student pour les distributions normales et par le test de Mann-Whitney pour les distributions non normales. Une analyse de covariance a été utilisée afin d'étudier les différences entre les deux groupes (anciens sprinteurs vs. hommes actifs) après ajustement pour le poids, l'activité physique totale et l'activité physique intense. Une régression linéaire multiple a été utilisée dans la deuxième étude préliminaire pour tester la relation entre le CMO CE avec la force maximale en soulevé de terre et l'âge. Les analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel NCSS (2001). Une valeur de $p < 0,05$ était exigée afin d'affirmer le caractère significatif des résultats.

Etude préliminaire 1 : Effets du type d'entraînement physique sur les paramètres de santé osseuse chez les adolescentes : une revue systématique

Résumé

Le but de cette étude était d'explorer les effets du type d'entraînement physique sur les paramètres de santé osseuse chez les adolescentes. Une revue systématique a été conduite en utilisant les bases de données électroniques (*Pubmed et Sciencedirect*). Sept études (incluant 355 participants) étaient éligibles à l'inclusion dans cette revue systématique. Deux études ont utilisé l'entraînement de musculation, trois études ont utilisé l'entraînement pliométrique, une étude a utilisé les sports collectifs et une étude a utilisé la danse. Les résultats ont indiqué que l'entraînement pliométrique augmente la masse osseuse du rachis lombaire chez les adolescentes. Des études randomisées contrôlées bien conçues (ayant une durée supérieure à 12 semaines) seront nécessaires pour préconiser le type d'entraînement physique ayant le potentiel ostéogénique.

Review Article



Effects of the Type of Exercise Training on Bone Health Parameters in Adolescent Girls: A Systematic Review

Abdel Jalil Berro,¹ Wassim El Hawly,² Gisèle El Khoury,¹ Zaher El Hage,³
Ayyappan Jayavel,⁴ Ayoub Saeidi,⁵ Ismail Laher,⁶ Antonio Pinti,⁷
Youssef Bassim,⁸ Anthony C. Hackney,⁹ Urs Granacher,¹⁰
Hassane Zouhal,^{11,12,1} and Rawad El Hage^{1*}

¹ Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, PO Box 100, Tripoli, Lebanon; ² Laboratoire Mouvement, Equilibre, Performance, Santé (MEPS), Université de Pau et des Pays de l'Adour, Campus Montauray, Anglet 64600, France; ³ Department of Psychology, Education and Physical Education, Faculty of Humanities, Notre Dame University, Louaize, Lebanon; ⁴ SRM College of Physiotherapy, SRM Institute of Science and Technology, Kattankulathur Kanchipuram, India; ⁵ Department of Physical Education and Sport Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran; ⁶ Department of Anesthesiology, Pharmacology, and Therapeutics, Faculty of Medicine, University of British Columbia, Vancouver, Canada; ⁷ Univ. Polytechnique Hauts-de-France, INSA Hauts-de-France, LARSH - Laboratoire de Recherche, Sociétés & Humanités, Valenciennes F-59313, France; ⁸ Faculty of Medicine, University of Balamand, Lebanon; ⁹ Department of Exercise & Sport Science; Department of Nutrition, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, United States; ¹⁰ Department of Sport and Sport Science, Exercise and Human Movement Science, University of Freiburg, Germany; ¹¹ University Rennes, M2S (Laboratoire Mouvement, Sport, Santé) - EA 1274, Rennes F-35000, France; and ¹² Institut International des Sciences du Sport (IIS), Irodouer 35850, France

Abstract

Interventional studies offer strong evidence for exercise's osteogenic impact on bone particularly during growth. With rising osteoporosis rates in older women, enhancing bone strength early in life is crucial. Thus, investigating the osteogenic effects of different types of physical activities in young females is crucial. Despite varied findings, only two systematic reviews tried to explore this topic without examining how different types of exercise may affect bone health in adolescent girls. The first aim of this systematic review was to assess the impact of exercise training on bone health parameters in adolescent girls, and the second aim was to investigate whether the type of exercise training can modulate this effect. A systematic literature search was conducted using common electronic databases from inception - January 2023. Seven studies (355 participants) were eligible for inclusion in this systematic review. Two studies dealt with resistance training, 3 studies applied plyometric training, 1 study used team sports, and 1 study used dancing. Results indicate that plyometric training increases lumbar spine bone mass in adolescent girls. Well-designed randomized controlled trials with a proper training period (> 12 weeks) are needed to advocate a specific type of training which has the highest osteogenic effect.

Keywords: Mechanical loading; Bone mineral density; Peak bone mass; Menarche; Prevention of osteoporosis.

Introduction

Osteoporosis is defined as a systemic skeletal disease characterized by low mineral bone mass and microarchitectural deterioration of bone tissue.¹⁻³ More specifically, it involves a decrease in the number of trabeculae coupled

¹last authors
Received 09/02/23; Revised 11/17/23; Accepted 11/21/23.
*Corresponding author. E-mail: rawadelhage21@hotmail.com

with trabecular thinning and loss of connectivity and a reduction in cortical thickness and an increase in its porosity.¹⁻³ This consequently increases bone fragility and susceptibility to fracture.²⁻⁵ Worldwide, osteoporosis causes more than 8.9 million fractures yearly, resulting in an osteoporotic fracture occurring about every 3 seconds.⁶⁻⁸ Using the WHO definition of osteoporosis, osteoporosis affects approximately 6.3 % of men over the age of 50 and 21.2 % of women over the same age range globally.^{3,6-8} Based on the world population of men and women, this suggests that approximately 500 million men and women worldwide may be affected.⁶⁻⁸ 80 %, 75 %, 70 %, and 58 % of forearm, humerus, hip and spine fractures, respectively, occur in women.^{3,6-8} Overall, 61 % of osteoporosis fractures occur in women, with a female-to-male ratio of 1.6.^{3,6-8}

Peak bone mass is considered the single most important factor for the prevention of osteoporosis later in life.⁹ In fact, an increase in peak bone mass of 10 % would delay the onset of osteoporosis by 13 years.¹⁰ In comparison, it has been reported that a 10 % increase in the age of menopause, or a 10 % reduction in age-related (non-menopausal) bone loss would only delay the onset of osteoporosis by 2 years.¹⁰ In addition, based on epidemiological studies, a 10 % increase in peak bone mass could reduce the risk of osteoporotic fractures by 50 % in postmenopausal women.⁹⁻¹¹

Peak bone mass has several determinants such as genetics, hormones, nutritional factors and mechanical factors including body weight and weight-bearing physical activity.¹²⁻¹⁹ An abundance of evidence from interventional studies supports the effectiveness of exercise training on bone mass accrual especially during the growing years (e.g. in children and adolescents). However, only two systematic reviews have consolidated this evidence.^{20,21}

The first systematic review exclusively examined randomized controlled trials that investigated the impact of exercise training on bone strength.²⁰ The second review broadened the scope of the aforementioned study by incorporating exercise training effects encompassing interventional and observational studies among children or adolescents.²¹ In this respect, aerobic, resistance, and other types of physical training have been used to explore the osteogenic response in children and adolescents. Diverse results have been obtained²²⁻²⁴ and no comparison between the osteogenic effects of the different types of physical exercise trainings has been made.

A cross sectional study investigated the relation between maturity and bone mineral density (BMD) in 91 female racquet sport players aged 7-17 and healthy, maturity matched counterparts. Proximal humerus, humeral shaft, and distal radius side to side areal BMD differences were significantly greater in players than controls at Tanner stages 3, 4, and 5.²⁵ In fact, during this period of puberty, bone is particularly responsive to weight-bearing, high impact exercises.²⁵ Gender may affect the

osteogenic response to exercise during puberty.^{26,27} Weight-bearing bones seem to be more sensitive to physical exercise in boys than in girls during pre- and early puberty.²⁶ Kriemler et al.²⁶ concluded that sex differences in bone mineral content (BMC) during pre- and early puberty may be related to a different sensitivity of bone to physical loading, irrespective of muscle mass. Hence, studying how physical activity affects bone health in young females and whether exercise type influences the extent of its impact on bone mass is crucial. The main aim of this systematic review was to assess the impact of exercise training on bone health parameters in adolescent girls, and the second aim was to investigate whether the type of exercise training can modulate this effect.

Material and methods

Eligibility Criteria

PICOS (Population, Intervention, Comparison, Outcome, and Study design) criteria were used as the inclusion criteria for the current review (see Table 1).²⁸ This systematic review included original studies (randomized and non-randomized studies) for which 1) the full texts were available, and that 2) performed interventions with exercise training, including 12 or more weeks of follow-up, 3) involved postmenarcheal girls, and 4) specifically evaluated whole-body BMC (WB BMC), lumbar spine BMC (LS BMC), and lumbar spine BMD (LS BMD), before and after the intervention.

Studies were excluded if they¹ did not meet the minimum requirements of an experimental study design (e.g. case reports),² did not meet the minimum requirements regarding training design (e.g. lack of information on volume, frequency, training methodology),³ were not written in English or French,⁴ involved non-healthy individuals⁵ did not include one of the following measurements; the whole body bone mineral content (WB BMC), the lumbar spine BMC, or the lumbar spine BMD⁵ did not include

Table 1
PICOS (participants, interventions, comparisons, outcomes, study design).

| PICOS component | Detail |
|----------------------|--|
| Participants | Healthy girls aged between 14 and 18 years. |
| Interventions | Exercise training two or more weeks of follow-up |
| Comparisons | Control group / Untrained participants |
| Outcomes | WB BMC, LS BMC, LS BMD |
| Study designs | nRCTs, nRnCTs and RCTs |
| | nRCT non-randomized controlled trial, nRnCT non-randomized non-controlled trial, RCT randomized controlled trial |

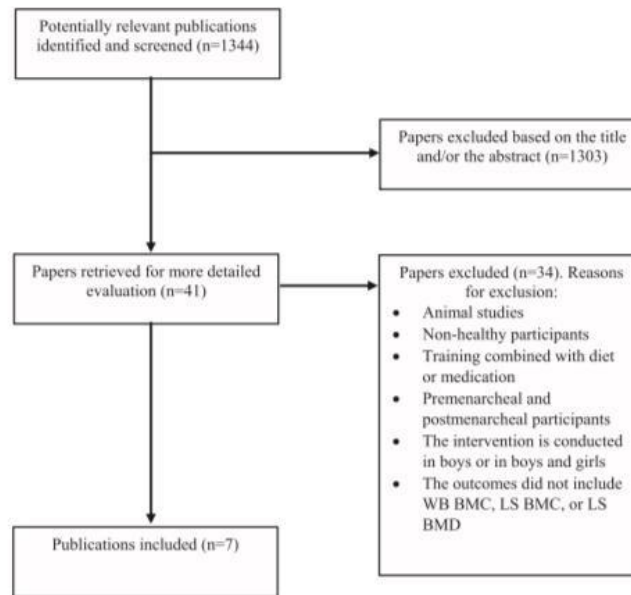


Fig. 1. Selection process for research articles ($n = 7$) included in this systematic review. Adapted version of the recommendations in the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) statement.²⁹

only girls. Additionally, the following exclusion criteria were adopted to reduce confounding factors: duplicate publications or sub-studies of included studies, studies involving pathologies, and studies associating exercise with a nutritional intervention (e.g., nutrition counseling, balanced or hypocaloric diets, and supplements) or pharmacological drugs. The systematic review protocol was registered on the Open-Source Framework on 12 February, 2023 (<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/63BZ8>).

Literature search strategy

This systematic review is reported in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement and the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.²⁹

We searched the following electronic databases (up to January 2023) without a period limit: Cochrane Library, PubMed, Science Direct, Scopus, SPORTDiscus, and Web of Science. Additionally, a manual search for published studies in Google Scholar was conducted for the grey literature analysis. The following key terms (and synonyms searched for by the MeSH database) were included and combined using the operators "AND", "OR", "NOT": ("bone mineral density" OR "bone mineral content" OR "peak bone mass" OR "mechanical

loading" OR "bone geometry" OR "bone resistance") AND ("exercise training" OR "physical training" OR "strength training", OR "resistance training" OR "aerobic training" OR "combined training") AND "children" OR "adolescents" OR "young" OR "youth").

Three investigators among the authors (REH, AB and GEK) independently performed searches in the electronic databases, and disagreements were solved by consensus.

Study selection

The inclusion or exclusion of articles was decided with the application of the PICOS criteria (see Table 1) to the title, abstract, and/or full text of articles. The data-collection process is presented in Fig. 1.²⁸ The titles and abstracts of the selected articles were independently assessed by two researchers (AP and GEK). The reviewers were not blinded to the authors, institutions, or journals associated with the manuscripts. Abstracts that provided insufficient information about the inclusion and exclusion criteria were retrieved for full-text analysis. Furthermore, the researchers independently analyzed the full text and determined the eligibility of the studies, and disagreements were resolved by consensus. To avoid double-counting participants or to clarify questions about the

methods, the corresponding authors were contacted if needed. Furthermore, when necessary, the corresponding author was also contacted via e-mail to provide data not included in the published research. Two researchers (AP and ZEH) independently performed the data extraction, and disagreements were resolved by consensus.

Quality assessment

Study quality was assessed using the Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale (<http://www.pedro.fhs.usyd.edu.au>), which has been shown to have good reliability and validity.³⁰ The PEDro scale has 11 possible points that examine external validity (criterion 1) and internal validity (criteria 2-9) of controlled trials and whether there is sufficient statistical information for interpreting results (criteria 10-11). The items of the scale are: (i) eligibility criteria were specified; (ii) subjects were randomly allocated to groups; (iii) allocation was concealed; (iv) groups were similar at baseline; (v) subjects were blinded; (vi) therapists who administered the treatment were blinded; (vii) assessors were blinded; (viii) measures of key outcomes were obtained from more than 85 % of subjects; (ix) data were analyzed by intention to treat; (x) statistical comparisons between groups were conducted, and (xi) point measures and measures of variability were provided. The first criterion is not included in the final score. Moreover, because of the nature of physical activity interventions, patient and therapy blinding and allocation are difficult; therefore, the total score a trial could receive was 8 points. A cut-off of 6 on the PEDro scale was used to indicate high-quality studies, as this has been reported to be sufficient to determine high quality vs. low quality in previous studies.³⁰ The studies were evaluated by two experienced investigators (AB and REH) and in the event of disagreement, a third reviewer (HZ) was invited to review.

Statistics

The results of the intend to treat approach were considered for the analysis. Within group percentages of variation were directly reported or computed when they were not stated in the trials. Excel was used to calculate the percentages of variations defined as the difference between the post-intervention and pre-intervention means divided by the pre-intervention mean, then multiplied by 100; these percentages were calculated for both intervention and control groups. Effect sizes were calculated as previously described by Morris et al.³¹

Results

Study selection

Overall, our search yielded 1344 records (Fig. 1). After the screening of titles, abstracts, and full texts, 7 studies were included in the systematic review. These studies were conducted in 4 different countries and included 355 adolescent girls. The characteristics of these studies are shown in Table 2. Two studies used resistance training as

Table 2 Characteristics of the studies that examined the effects of the type of exercise training on bone health indices in adolescent girls (PEDro).

| Study | PEDro scale | Population | Sample size | Country | Age, years (mean \pm SD or range) | Type of exercise training | Duration (W) |
|-------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|---------|-------------------------------------|---------------------------|--------------|
| Blimkie et al. ³² | 7 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 21.9 | 36 | Canada | 14-18 | Resistance training | 26 |
| Nichols et al. ³³ | 8 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 25.7 | 36 | USA | 14-17 | Resistance training | 60 |
| El Hage et al. ³⁷ | 7 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 26.5 | 21 | Lebanon | 14-18 | Team sport | 12 |
| Stear et al. ³⁴ | 10 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 21.2 | 131 | France | 16-18 | Plyometric Jump | 62 |
| Arnett et al. ³⁵ | 9 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 21.6 | 37 | USA | 14.7 \pm 0.7 | Plyometric Jump | 16 |
| Witzke and Snow ³⁶ | 8 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 22.5 | 53 | USA | 14.6 \pm 0.5 | Plyometric Jump | 36 |
| Stavano et al. ³⁸ | 10 | Postmenarcheal girls; mean BMI = 37.5 | 41 | USA | 15.3 \pm 1.2 | Dancing | 12 |

Abbreviations: PEDro scale, physiotherapy evidence database scale; BMI, body mass index; SD, standard deviation; N, number of subjects; G, group; C, control; Ex, exercise; RE, resistance exercise; P, Physical

an intervention,^{32,33} 3 studies used plyometric training,^{34–36} 1 study used team sports,³⁷ and one study used dancing.³⁸ The duration of the interventions ranged between 12 and 62 weeks. The training frequency was at least 3 times per week; one study³⁴ did not report it accurately. Six studies reported compliance with the training, which ranged between 50 and 90 %. All the studies were classified as “high quality” studies (mean of 8.4 on Pedro scale) (Table 3). The studies used in this analysis are summarized in Table 4.

Effects of exercise training on bone health parameters in adolescent girls

Overall, WB BMC, LS BMC, and LS BMD increased in all studies; some increases were not significant. The percentage of variation of WB BMC ranged from 0.5 to 3.7 %. The percentage of variation of LS BMC ranged from 1.8 to 6.57 %. The percentage of variation of LS BMD ranged from 0.9 to 2.61 %. The percentages of variations were reported in intervention and control groups. Table 5 summarizes the changes in intervention and control groups of the seven studies included.

Effects of resistance training

Two studies investigated the impact of resistance training on bone parameters in adolescent girls. In the study of Blimkie et al.,³² WB BMC, LS BMC, and LS BMD increased by 1.6 %, 2 %, and 0.9 % in the intervention group and 1.6 %, 3.9 %, and 0 % in the control group respectively. Similarly, in the study of Nichols et al.,³³ WB BMC, LS BMC and LS BMD increased by 3.2 %, 4.7 % and 2.61 % in the intervention group and 3.22 %, 5.71 % and 2.76 % in the control group respectively. In both studies, these variations were not significant.

Effects of team sports

One study investigated the impact of team sports on bone parameters in adolescent girls. El Hage et al.³⁷ demonstrated a non-significant increase of the WB BMC in both the normal weight and the overweight group by 1.7 and 1.6 % respectively. In the obese group, WB BMC significantly increased by 3.1 %. The authors suggested that obesity may increase the osteogenic effect of physical exercise. This study did not include a control group.

Effects of plyometric training

Three studies investigated the impact of plyometric training on bone parameters in adolescent girls. In the study of Arnett et al.,³⁵ LS BMC of both intervention groups (the HV and the LV) increased by 2.36 and 1.92 % vs. 1.04 % in the control group; all these variations were not significant ($p > 0.05$). In the study Witzke et al.,³⁶ WB BMC and LS BMC significantly increased by 3.71 and 6.57 % in the intervention group vs. 3.57 and 5.34 % in the control group. In the study of Stear et al.,³⁴

Table 3 Studies that examined the effects of the type of exercise training on bone health indices in adolescent girls.

| Study | Eligibility criteria | Randomized allocation | Blinded allocation | Group homogeneity | Blinded subjects | Blinded therapists | Blinded assessor | Drop out >15 % | Intention-to-treat analysis | Between-group comparison | Point estimates and variability | Pedro sum |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|
| Blimkie et al. ³² | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 |
| Nichols et al. ³³ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 8 |
| El Hage et al. ³⁷ | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 |
| Stear et al. ³⁴ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 10 |
| Arnett et al. ³⁵ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 9 |
| Witzke and Snow ³⁶ | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 8 |
| Suzano et al. ³⁸ | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |

Table 4
Main outcomes of studies that examined the effects of exercise training on bone health indices in adolescent girls.

| Reference | Gender, Number of participants (N), and age (yrs.) | Intervention description | Measurement tool | Outcomes: bone parameters (%Δ, p value) |
|----------------------|--|--|------------------|--|
| Resistance training | Blimkie et al. ²² | Girls, INT: 15, CON: 16, 14-18 | DXA | INT group: ↑ WB BMC (1.6, $p > 0.05$), ↑ LS BMC (2, $p > 0.05$), ↑ LS BMD (0.9, $p > 0.05$) CON group: ↑ WB BMC (1.6, $p > 0.05$), ↑ LS BMC (3.9, $p > 0.05$), ↑ LS BMD (0, $p > 0.05$) |
| | Nichols et al. ²³ | Girls, INT: 46, CON: 21, 14-17 | DXA | INT group: ↑ WB BMC (3.2, $p > 0.05$), ↑ LS BMC (4.7, $p > 0.05$), ↑ LS BMD (2.61, $p > 0.05$) CON group: ↑ WB BMC (3.22, $p > 0.05$), ↑ LS BMC (5.71, $p > 0.05$), ↑ LS BMD (2.76, $p > 0.05$) |
| Team sports training | El Hage et al. ²⁴ | Girls, INT1: normal Weight: 7, 16.8±0.26 years, INT2: overweight: 8, 16±0.41, INT3 obese: 6, 15.8±0.79 | DXA | INT group: ↑ Normal weight WB BMC (1.7, $p > 0.05$) ↑ Overweight WB BMC (1.6, $p > 0.05$) ↑ Obese WB BMC (3.1, $p < 0.05$) |
| | Stear et al. ²⁴ | Girls, S+E: 37, S+N: 28, P+E: 38, P+N: 28, 16-18 | DXA | INT group: ↑ WB BMC (2, $p > 0.05$), ↑ LS BMC (1.8, $p > 0.05$) CON group: ↑ WB BMC (1.9, $p > 0.05$), ↑ LS BMC (0.5, $p > 0.05$) |
| Plyometric training | Arnett et al. ²⁵ | Girls, HV: 13, LV: 12, CON: 12, 14.7±0.7 | DXA | INT groups: ↑ HV LS BMC (2.36, $p > 0.05$), ↑ LV LS BMC (1.92, $p > 0.05$) CON group: ↑ LS BMC (1.04, $p > 0.05$) |
| | Witzke and Snow ²⁶ | Girls, INT: 25, CON: 28, 14.6±0.5 | DXA | INT group: ↑ WB BMC (3.71, $p = 0.0003$), ↑ LS BMC (6.57, $p < 0.0001$) CON group: ↑ WB BMC (3.57, $p = 0.0003$), ↑ LS BMC (5.34, $p < 0.0001$) |
| Dance training | Staiano et al. ²⁸ | Overweight and obese girls, INT: 22, CON: 19, 14-18 | DXA | INT group: ↑ WB BMC (0.53, $p > 0.05$), ↑ LS BMD (1.81, $p > 0.05$) CON group: ↑ WB BMC (0.48, $p > 0.05$), ↑ LS BMD (0.16, $p > 0.05$) |

Abbreviations: N, number of subject; G, group; CON, control; INT, intervention; Ex, exercise; Training, Tr; d, day; W, week; month, Mo; minute, min; reps, repetitions; sessions, ss; I, intensity; RM, maximal resistance; strength, str; MAV, maximal aerobic velocity; R, resistance; HV, high-volume; LV, low volume; DXA, dual energy x-ray absorptiometry; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; WB, whole body; LS, lumbar spine; S: supplement, P: placebo; %Δ, percentage of variation; ↑, increase; ↓, decrease.

Table 5
Summary of changes in intervention and control groups.

| Study | Type of exercise training | Parameter | Change in control group | Change in intervention group | Difference between conditions | % of variation control group | % of variation intervention group | % of variation intervention group / % of variation control group | Effect size |
|-------------------------------|--|-----------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------|
| Blimkie et al. ¹² | Resistance training Duration: 26 weeks | WB BMC | 36.32 | 36.25 | -0.07 | 1.6 | 1.6 | 1 | - |
| | | LS BMC | 1.79 | 0.86 | -0.9 | 3.9 | 2 | 0.5 | - |
| | | LS BMD | 0 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.9 | 0 | - |
| Nichols et al. ¹³ | Resistance training Duration: 15 months | WB BMC | 73.71 | 70.09 | -3.62 | 3.22 | 3.2 | 1 | -0.01 |
| | | LS BMC | 2.57 | 1.92 | -0.65 | 5.71 | 4.7 | 0.82 | -0.093 |
| | | LS BMD | 0.03 | 0.03 | 0 | 2.76 | 2.61 | 0.9 | -0.023 |
| El Hage et al. ¹⁷ | Team sports Duration: 12 weeks | WB BMC | - | Normal-weight: 30.2 | - | - | Normal-weight: 1.7 | - | - |
| | | WB BMC | - | Overweight: 38.6 | - | - | Overweight: 1.6 | - | - |
| | | WB BMC | - | Obese: 61 | - | - | Obese: 3.1 | - | - |
| Stear et al. ¹⁴ | Plyometric jump Duration: 15.5 months | WB BMC | 38.608 | 41.18 | 2.58 | 1.9 | 2 | 1.05 | - |
| | | LS BMC | 0.26 | 1.01 | 0.74 | 0.5 | 1.8 | 3.6 | - |
| Arnett et al. ¹¹ | Plyometric jump Duration: 16 weeks | LS BMC | 0.48 | HV: 1.03 LV: 0.84 | HV: 0.55 LV: 0.36 | 1.04 | HV: 2.36 LV: 1.92 | HV: 2.26 LV: 1.84 | HV: 0.056 LV: 0.046 |
| | | WB BMC | 73.45 | 63.66 | -9.79 | 3.57 | 3.71 | 0.89 | -0.025 |
| Witzke and Snow ¹⁶ | Plyometric jump Duration: 36 weeks | LS BMC | 2.21 | 2.6 | 0.39 | 5.34 | 6.57 | 1.15 | 0.062 |
| | | WB BMC | 13 | 14 | 1 | 0.48 | 0.53 | 1.10 | - |
| Staiano et al. ¹⁸ | Dancing Duration: 12 weeks | LS BMD | 0.002 | 0.02 | 0.01 | 0.16 | 1.81 | 11.3 | - |

HV, high-volume; LV, low volume; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; WB, whole body; LS, lumbar spine.

WB BMC and LS BMC increased by 2 and 1.8 % in the intervention group and 1.9 and 0.5 % in the control group respectively; all these variations were not significant ($p > 0.05$).

Effects of dance training

One study investigated the impact of dance training on bone parameters in adolescent girls.³⁸ The study showed non-significant increases of the WB BMC and LS BMC by 0.53 and 1.81 % respectively in the intervention group.³⁸ In the control group, the study showed non-significant increases of the WB BMC and LS BMC by 0.48 and 0.16 % respectively.

Discussion

To the best of our knowledge, this is one of very few systematic reviews aimed at exploring the effects of the type of exercise training on bone health parameters in adolescent girls. The results of the current systematic review show that plyometric training seems to be the most effective training method in this population.

Effects of exercise training on bone health parameters in adolescent girls

Effects of resistance training

Resistance exercise is a low-cost nonpharmacological strategy for optimizing BMD during premenopausal years.^{2,39} In fact, it is one of the most recommended approaches to leverage bone resistance and decrease fracture risk.^{40,41} Therefore, it is considered an important component of osteoporosis prevention.⁴²

The first study included in our systematic review regarding resistance training and bone parameters was conducted by Blimkie et al.³² They investigated the effect of a resistance training program using hydraulic machines with a progressive intensity over 26 weeks. Despite the absence of significance, the subjects showed an increase in their WB BMC, LS BMC, and LS BMD; these percentages of variations were not higher in the intervention group compared to the control group. The second study was conducted by Nichols et al.,³⁵ who explored the impact of a resistance training regimen using free weights and machines with a progressive intensity over 60 weeks. Similarly, the result showed a non-significant increase in the WB BMC, LS BMC, and LS BMD; these percentages of variations were not higher in the intervention group compared to the control group. The percentages of variations in bone parameters were higher in the second study. Interestingly, these subjects exhibit the highest increase in LS BMD compared to all other subjects included in other papers. The difference in the osteogenic response between the two studies was probably due to the long training duration. Our results are in line with those of Shoja et al.⁴³ In their meta-analysis, they found that dynamic resistance exercise increases LS BMD, TH

BMD and BMD. In addition, Zouhal et al.⁴⁴ investigated the efficiency of resistance exercise on WB BMD in obese individuals. They demonstrated a trivial increase of WB BMD in the studies that used resistance training as an intervention. However, we did not include these parameters in our analytical model, which precludes any direct comparison. Based on the available evidence, resistance training does not appear to increase WB BMC, LS BMC and LS BMD in adolescent girls as the percentages of variations in bone parameters were higher in the control groups compared to the intervention groups.

Effects of team sport training

Maximizing adherence to exercise training is important in order to reach a significant improvement in bone health parameters.⁴⁵ This issue is pronounced in the sedentary population with a lack of motivation toward physical activity.⁴⁶ Accordingly, seeking sports that improve pleasure and provide a good osteogenic effect is crucial in this respect.⁴⁷ In our systematic review, the only study that performed team sports training was carried out by El Hage et al.³⁷ who studied the effect of running, strengthening, proprioception exercise, stretching, and collective games on bone parameters in normal-weight, overweight and obese female adolescents for over 12 weeks. This study only measured the WB BMC. Although WB BMC increased in the three groups, the group of obese girls demonstrated the highest and most significant increase. The authors suggested that increased fat mass and BMI may positively influence the osteogenic effect of this type of exercise.³⁷ In accordance with these results, Frstrup et al.⁴⁸ demonstrated that twelve weeks of recreational small-sided team handball training improves WB BMC, leg BMC and TH BMC in previously untrained young adults. In addition, Clemente et al.⁴⁹ conducted a meta-analysis to assess the effects of small-sided game-based training programs on bone mineral density in untrained adults; they concluded that this type of training increases BMD of the lower limbs. Due to the different parameters used in our review, a direct comparison cannot be achieved. Based on the existing evidence, team sports training appears to increase WB BMC in adolescent girls. However, regrettably, this study did not include a control group.³⁷ The osteogenic effects of team sports vary a lot.^{50–57} A study has reported hip and spine bone loading scores for each team sport⁵¹ while another study validated a specific questionnaire aimed at evaluating the osteogenic effect of exercise in humans.⁵⁷

Effects of plyometric training

Plyometric training is considered an important tool to increase bone mass.²³ It involves powerful movements in which the muscle exhibits a quick transition from eccentric to concentric contraction resulting in a high mechanical stimulus for bone formation.²³ In addition, this type of exercise is associated with high-ground reaction forces

that can reach 7 times the body weight.⁵⁸ As a result, bones adapt to these mechanical loads by increasing their strength.⁵⁹

Three studies investigated the effects of plyometric training on bone parameters in adolescent girls. Arnett et al.³⁵ carried out a study using two jumping exercises. Adolescents, in both groups, performed rope jumping over 16 weeks. The students in the high-volume group jumped for 10 minutes while the participants in the low-volume group jumped for 5 minutes. The subjects in both groups showed an increase in the lumbar spine BMC; however, the percentage of variation in the high-volume group was higher. Interestingly, these percentages of variations were greater in both intervention groups compared to the control group highlighting the importance of plyometric training on lumbar spine BMC.³⁵ The second study was conducted by Stear et al.³⁴ They found that a combined 30-min workout of aerobic exercise at moderate to vigorous intensity in addition to weight-bearing moderate to high impact movements over 62 weeks can increase WB BMC and LS BMC in a group of adolescent girls.³⁴ Even though the program duration in the second study was 5 times more than the first one,^{34,35} the difference in the percentage of variation of the LS BMC was not prominent between the two interventions. Notably, the percentage of variation of LS BMC was greater in the intervention group compared to the control group highlighting the importance of plyometric training on lumbar spine BMC. The third study was conducted by Witzky et al.³⁶ They demonstrated that supervised plyometric training over 36 weeks can increase WB BMC and LS BMC in adolescent girls. Remarkably, the percentage of variation of LS BMC was greater in the intervention group compared to the control group highlighting the importance of plyometric training on lumbar spine BMC. In line with these results, a systematic review was conducted to explore the effects of plyometric jumping interventions on bone mass, structure, and metabolism in children and adolescents.²³ Although the paper could not determine the precise volume, intensity, and duration needed for the intervention's efficiency due to the variability of the used protocol, plyometric training during childhood and adolescence is able to improve BMC, BMD, and bone structure and to maintain these effects after the intervention ended.²³ Overall, the results of these studies showed that plyometric training can increase LS BMC in adolescent girls.

Effects of dance training

Although physical fitness is considered a key element in dancing performance,⁶⁰ there is a controversy regarding the effect of dance training on bone health.⁶¹ This effect may also depend on the type of dancing. During adolescence, dancing has been associated with low body weight, late onset of menarche, and menstrual dysfunctions.⁶² These elements could negatively affect the bones.⁶³ Differently, other studies found

that professional dancers have higher BMD compared to controls despite low body mass and late menarche, and those adolescent dancers were not found to be at risk of osteoporosis.⁶⁴ Amorim et al.⁶¹ conducted a systematic review to investigate the prevalence and incidence of low BMD in female dancers. Unfortunately, they could not reach a solid conclusion due to the low quality of the studies.

In our systematic review, one study examined the effect of dancing on bone parameters. Staiano et al.³⁸ investigated the influence of three sessions of one hour per week for 12 weeks. This study showed an increase in WB BMC and LS BMD. It is worth mentioning that the observed increase in the percentages of variation of BMD in this paper was the lowest among all the studies. However, these percentages were higher in the intervention group compared to the control group. Accordingly, dancing might slightly increase WB BMC and lumbar spine BMD in adolescent girls. Interestingly, the study of Staiano et al.³⁸ was conducted on overweight and obese girls in whom osteogenic response to exercise is usually optimized.

Although it is an original study, our systematic review has some limitations. In fact, the overall number of identified studies ($n=7$) and the number of participating individuals are relatively low ($n=355$ adolescent girls). Accordingly, we did not combine and meta-analyze findings from the seven included longitudinal studies. Another limitation was the difference in the training duration. In fact, the studies encompassing resistance and plyometric training exhibited the longest training duration. While both theoretical and experimental evidence suggest the importance of the osteogenic response elicited by plyometric training,^{41,44} the considerable disparity in the training duration introduces uncertainty into the comparison. Finally, we were not able to calculate effect sizes in all studies as some of these studies did not report mean post-intervention values and/or standard deviations.

Our systematic review suggests that plyometric training is apt to increase lumbar spine bone mineral content in adolescent girls. The lack of availability of studies did not allow a robust comparison regarding the osteogenic effect among different types of exercise training. Nevertheless, plyometric training appears to have a higher osteogenic response than resistance training, team sports and dance trainings. Additional, well-designed randomized controlled trials with a long training period (>12 weeks), complete reported data, and a focus on specific gender are needed to advocate a specific type of exercise training which has the highest osteogenic effect.

Declaration of Competing Interest

There is no conflict of interest.

References

1. Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. *Am J Med* 94(6):646–650.
2. America's Bone Health: The state of osteoporosis and low bone mass in our nation. 2002 Foundation; 110 p.
3. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Oden A, Melton LJ, Khaltayev N. 2008 A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone* 42(3):467–475.
4. Porter JL, Varacallo M, Castano M. 2023 Osteoporosis (Nursing). StatPearls [Internet].
5. Seeman E, Delmas PD. 2006 Bone quality: the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med* 354(21):2250–2261.
6. Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. 1997 World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int* 7(5):407–413.
7. Kanis JA, Norton N, Harvey NC, Jacobson T, Johansson H, Lorentzon M, et al. 2021 SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Arch Osteoporos* 16(1):82.
8. Johnell O, Kanis JA. 2006 An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 17(12):1726–1733.
9. Bonjour JP, Chevalley T, Ferrari S, Rizzoli R. 2009 The importance and relevance of peak bone mass in the prevalence of osteoporosis. *Salud Publica de Mexico* 51:S5–17.
10. Hernandez CJ, Beaupré GS, Carter DR. 2003 A theoretical analysis of the relative influences of peak BMD, age-related bone loss and menopause on the development of osteoporosis. *Osteoporos Int* 14(10):843–847.
11. Marshall D, Johnell O, Wedel H. 1996 Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ* 312(7041):1254–1259.
12. Bailey CA, Brooke-Wavell K. 2008 Exercise for optimising peak bone mass in women. *Proc Nutr Soc* 67(1):9–18.
13. Burckhardt P, Michel C. 1989 The peak bone mass concept. *Clin Rheumatol Suppl* 2:16–21.
14. El Hage R, Jacob C, Moussa E, Groussard C, Pineau JC, Benhamou CL, et al. 2009 Influence of the weight status on bone mineral content and bone mineral density in a group of Lebanese adolescent girls. *Joint Bone Spine* 76(6):680–684.
15. Janz KF, Letuchy EM, Eichenberger Gilmore JM, Burns TL, Torner JC, Willing MC, et al. 2010 Early physical activity provides sustained bone health benefits later in childhood. *Med Sci Sports Exerc* 42(6):1072–1078.
16. Karlsson MK, Rosengren BE. 2020 Exercise and peak bone mass. *Curr Osteoporos Rep* 18(3):285–290.
17. Kontulainen SA, Hughes JM, Macdonald HM, Johnston JD. 2007 The biomechanical basis of bone strength development during growth. *Med Sport Sci* 51:13–32.
18. Krall EA, Dawson-Hughes B. 1993 Heritable and life-style determinants of bone mineral density. *J Bone Miner Res* 8(1):1–9.
19. Lu J, Shin Y, Yen MS, Sun SS. 2016 Peak bone mass and patterns of change in total bone mineral density and bone mineral contents from childhood into young adulthood. *J Clin Densitom* 19(2):180–191.
20. Nikander R, Sievänen H, Heimonen A, Daly RM, Uusi-Rasi K, Kannus P. 2010 Targeted exercise against osteoporosis: a systematic review and meta-analysis for optimising bone strength throughout life. *BMC Med* 8:47.
21. Tan VPS, Macdonald HM, Kim S, Nettlefold L, Gabel L, Ashe MC, et al. 2014 Influence of physical activity on bone strength in children and adolescents: a systematic review and narrative synthesis. *J Bone Miner Res* 29(10):2161–2181.
22. Daly RM. 2007 The effect of exercise on bone mass and structural geometry during growth. *Med Sport Sci* 51:33–49.
23. Gómez-Bruton A, Matute-Llorente A, González-Agüero A, Casajús JA, Vicente-Rodríguez G. 2017 Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review. *World J Pediatr* 13(2):112–121.
24. Gracia-Marco L, Moreno LA, Ortega FB, León F, Sioen I, Kafatos A, et al. 2011 Levels of physical activity that predict optimal bone mass in adolescents: the HELENA study. *Am J Prev Med* 40(6):599–607.
25. Haapasalo H, Kannus P, Sievänen H, Pasanen M, Uusi-Rasi K, Heimonen A, et al. 1998 Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players. *J Bone Miner Res* 13(2):310–319.
26. Kriemler S, Zahner L, Puder JJ, Braun-Fahrlander C, Schindler C, Farpour-Lambert NJ, et al. 2008 Weight-bearing bones are more sensitive to physical exercise in boys than in girls during pre- and early puberty: a cross-sectional study. *Osteoporos Int* 19(12):1749–1758.
27. MacKelvie KJ, Khan KM, McKay HA. 2002 Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br J Sports Med* 36(4): 250–7; discussion 257.
28. Chapter 7 Selecting studies and collecting data. 2020
29. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. 2015 Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev* 4(1):1.
30. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. 2003 Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther* 83(8):713–721.
31. Morris SB. 2008 Estimating effect sizes from pretest-posttest-control group designs. *Organ Res Methods* 11(2):364–386.
32. Blimkie CJ, Rice S, Webber CE, Martin J, Levy D, Gordon CL. 1996 Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Can J Physiol Pharmacol* 74(9):1025–1033.
33. Nichols DL, Sanborn CF, Love AM. 2001 Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *J Pediatr* 139(4):494–500.
34. Stear SJ, Prentice A, Jones SC, Cole TJ. 2003 Effect of a calcium and exercise intervention on the bone mineral status of 16-18-y-old adolescent girls. *Am J Clin Nutr* 77(4):985–992.
35. Arnett MG, Lutz B. 2002 Effects of rope-jump training on the os calcis stiffness index of postpubescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 34(12):1913–1919.
36. Witzke KA, Snow CM. 2000 Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 32(6):1051–1057.
37. El Hage R, Jacob C, Moussa E, Youssef H, Jaffré C. 2009 Effets de 12 semaines d'entraînement en endurance sur le contenu minéral osseux et la densité minérale osseuse chez des adolescentes obèses, en surpoids et normales. *Sci Sports* 24(3-4):210–213.
38. Staiano AE, Marker AM, Beyl RA, Hsia DS, Katzmarzyk PT, Newton RL. 2017 A randomized controlled trial of dance exergaming for exercise training in overweight and obese adolescent girls. *Pediatr Obes* 12(2):120–128.
39. Tudor-Locke C, McColl RS. 2000 Factors related to variation in premenopausal bone mineral status: a health promotion approach. *Osteoporos Int* 11(1):1–24.

40. Kelley GA, Kelley KS, Tran ZV. 2001 Resistance training and bone mineral density in women: a meta-analysis of controlled trials. *Am J Phys Med Rehabil* 80(1):65–77.
41. Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, Kalkwarf HJ, Lappe JM, Lewis R, et al. 2016 The national osteoporosis foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporos Int* 27(4):1281–1286.
42. Beck BR, Daly RM, Singh MA, Taaffe DR. 2017 Exercise and sports science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for the prevention and management of osteoporosis. *J Sci Med Sport* 20(5):438–445.
43. Shojaa M, von Stengel S, Kohl M, Schoene D, Kemmler W. 2020 Effects of dynamic resistance exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis with special emphasis on exercise parameters. *Osteoporos Int* 31(8):1427–1444.
44. Zouhal H, Berro AJ, Kazwini S, Saeidi A, Jayavel A, Clark CCT, et al. 2021 Effects of exercise training on bone health parameters in individuals with obesity: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol* 12:807110.
45. Chao D, Foy CG, Farmer D. 2000 Exercise adherence among older adults: challenges and strategies. *Control Clin Trials* 21(5 Suppl): 212S–7S.
46. Owen N, Sugiyama T, Eakin EE, Gardiner PA, Tremblay MS, Sallis JF. 2011 Adults' sedentary behavior determinants and interventions. *Am J Prev Med* 41(2):189–196.
47. Jekauc D. 2015 Enjoyment during exercise mediates the effects of an intervention on exercise adherence. *Psychology* 6(1):48–54.
48. Frstrup B, Krstrup P, Andersen JL, Hornstrup T, Løwenstein FT, Larsen MA, et al. 2020 Effects of small-sided recreational team handball training on mechanical muscle function, body composition and bone mineralization in untrained young adults-A randomized controlled trial. *PloS One* 15(11):e0241359.
49. Clemente FM, Ramirez-Campillo R, Sarmiento H, Castillo D, Raya-González J, Rosemann T, et al. 2021 Effects of recreational small-sided soccer games on bone mineral density in untrained adults: a systematic review and meta-analysis. *Health Basel Switz* 9(4):457.
50. Ainsworth BE, Shaw JM, Hueglin S. 2002 Methodology of activity surveys to estimate mechanical loading on bones in humans. *Bone* 30(5):787–791.
51. Dolan SH, Williams DP, Ainsworth BE, Shaw JM. 2006 Development and reproducibility of the bone loading history questionnaire. *Med Sci Sports Exerc* 38(6):1121–1131.
52. Dowthwaite JN, Dunsmore KA, Gero NM, Burzynski AO, Sames CA, Rosenbaum PF, et al. 2015 Arm bone loading index predicts DXA musculoskeletal outcomes in two samples of post-menarcheal girls. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 15(4):358–371.
53. Grootenhaus J, Siemer H, Kemper HCG, Twisk J, Welten DC. 1997 Influence of peak strain on lumbar bone mineral density: an analysis of 15-year physical activity in young males and females. *Pediatr Exerc Sci* 9(2):159–173.
54. Kemper HC, Twisk JW, van Mechelen W, Post GB, Roos JC, Lips P. 2000 A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: the amsterdam growth and health longitudinal study. *Bone* 27(6):847–853.
55. Popp KL, Turkington V, Hughes JM, Xu C, Unnikrishnan G, Reifman J, et al. 2019 Skeletal loading score is associated with bone microarchitecture in young adults. *Bone* 127:360–366.
56. Wang QJ, Suominen H, Nicholson PHF, Zou LC, Alen M, Koistinen A, et al. 2005 Influence of physical activity and maturation status on bone mass and geometry in early pubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* 15(2):100–106.
57. Weeks BK, Beck BR. 2008 The BPAQ: a bone-specific physical activity assessment instrument. *Osteoporos Int* 19(11):1567–1577.
58. Hayes KC, Kakulas BA. 1997 Neuropathology of human spinal cord injury sustained in sports-related activities. *J Neurotrauma* 14(4):235–248.
59. Hind K, Burrows M. 2007 Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: a review of controlled trials. *Bone* 40(1):14–27.
60. Koutedakis Y, Jamurtas A. 2004 The dancer as a performing athlete: physiological considerations. *Sports Med Auckl NZ* 34(10):651–661.
61. Amorim T, Wyon M, Maia J, Machado JC, Marques F, Metisios GS, et al. 2015 Prevalence of low bone mineral density in female dancers. *Sports Med Auckl NZ* 45(2):257–268.
62. Castelo-Branco C, Reina F, Montivero AD, Colodrón M, Vanrell JA. 2006 Influence of high-intensity training and of dietetic and anthropometric factors on menstrual cycle disorders in ballet dancers. *Gynecol Endocrinol* 22(1):31–35.
63. Valentino R, Savastano S, Tommaselli AP, D'Amore G, Dorato M, Lombardi G. 2001 The influence of intense ballet training on trabecular bone mass, hormone status, and gonadotropin structure in young women. *J Clin Endocrinol Metab* 86(10):4674–4678.
64. To W, Wong M. 2011 Does oligomenorrhoea/amenorrhoea and underweight imply athlete triad syndrome in young female dancers? *Eur J Sport Sci* 11(5):335–340.

Etude préliminaire 2 : Relation entre la force maximale en soulevé de terre et la masse osseuse chez un groupe d'hommes âgés sains

Résumé

Le but de cette étude était d'explorer les relations entre la force maximale en soulevé de terre et le contenu minéral osseux du corps entier (CMO CE) chez un groupe d'hommes âgés sains. 32 hommes âgés sains (dont l'âge est compris entre 60 et 85 ans) ont participé à cette étude. Le poids et la taille ont été mesurés, et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. Le CMO CE a été mesuré par DXA. La force maximale en soulevé de terre était positivement corrélée au CMO CE ($r = 0,59$; $p < 0,001$) alors que l'âge était négativement corrélée au CMO CE ($r = - 0,40$; $p < 0,05$). La corrélation positive entre la force maximale en soulevé de terre et le CMO CE a persisté après ajustement pour l'âge en utilisant une régression linéaire multiple. En conclusion, la présente étude suggère que la force maximale en soulevé de terre est un déterminant indépendant de la masse osseuse chez les hommes âgés.

Maximal deadlift strength and bone mass in a group of healthy elderly men

Elie Maliha¹, Wassim El Hawly², Antonio Pinti^{3,*}, Gautier Zunquin², Youssef Basim⁴, Rawad El Hage¹

1. Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, PO Box 100 Tripoli, Lebanon.
2. Laboratoire Mouvement, Equilibre, Performance, Santé (MEPS), Université de Pau et des pays de l'Adour, Campus Montaury Anglet 64600, France.
3. Laboratoire LARSH DeVisu, Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF), INSA Hauts-de-France, Valenciennes, France.
4. Faculty of Medicine, University of Balamand, Lebanon.

* Corresponding author: antonio.pinti@uphf.fr

Abstract. The aim of the current study was to explore the relationship between whole body bone mineral content (WB BMC) and maximal deadlift strength in a group of elderly men. 32 healthy elderly men whose ages range between 60 and 85 years participated in our study. Weight and height were measured, and body mass index was calculated. WB BMC was evaluated by dual-energy x-ray absorptiometry (DXA). One-repetition maximum (1-RM) deadlift was directly determined. 1-RM deadlift was positively correlated to WB BMC ($r = 0.59$; $p < 0.001$) while age was negatively correlated to WB BMC ($r = -0.40$; $p < 0.05$). The positive correlation between WB BMC and 1-RM deadlift remained significant after controlling for age using a multiple linear regression analysis. In conclusion, the current study suggests that maximal deadlift strength is an independent determinant of bone mass in elderly men.

Keywords: Sarcopenia; DXA ; Osteoporosis; Muscular power

1. Introduction

Worldwide, osteoporosis causes more than 8.9 million fractures annually, resulting in an osteoporosis fracture every 3 seconds [1]. Using the WHO definition of osteoporosis, the disease affects approximately 6.3% of men over the age of 50 and 21.2% of women over the same age range globally [2]. Based on the world population of men and women, this suggests that approximately 500 million men and women worldwide may be affected [3]. By 2050, the worldwide incidence of hip fracture in men is projected to increase by 310% and 240% in women, compared to rates in 1990 [3]. Alt-

though the overall prevalence of fragility fractures is higher in women, men generally have higher rates of fracture related mortality [4-7].

This is true for hip fractures, where a reduction in life expectancy and excess mortality was observed at a higher level in men compared to women, even after considering co-morbidities, medications and changes in background mortality [4-7]. The prevalence of low bone mass is higher in the Middle East than in western countries [8]. Hypovitaminosis D is highly prevalent in the Middle Eastern and African regions and could be a contributing factor to osteoporosis [9]. Hip fractures occur at a younger age in Lebanon compared to Western populations, and 60% of patients with hip fractures have osteopenia rather than osteoporosis [10, 11].

Bone mass is influenced by several factors including genetics, age, gender, nutrition, hormones and mechanical factors [12-15]. The relative importance of physical activity/physical performance level on bone mass has been highlighted by several studies [13, 14, 16-20]. As such, we have previously demonstrated that muscular strength, muscular power and absolute maximum oxygen consumption are positively correlated to bone mineral content and bone mineral density values in young adults and elderly subjects [16-20]. Handgrip, bench press and squat tests were used by most of the studies to evaluate the relationships between muscular strength and bone mass [16-20]. However, up to our knowledge, there are no studies that explored the relationships between maximal deadlift strength and bone parameters in the elderly. The deadlift is a basic resistance exercise performed in several training programs for improving physical fitness [21].

The deadlift is frequently performed when the goal is primarily the strengthening of the thigh and posterior chain muscles [21]. Accordingly, the deadlift is classified as one of the most typical resistance exercises for posterior lower limb strengthening [21]. The aim of the current study was to explore the relationship between whole body bone mineral content (WB BMC) and maximal deadlift strength in a group of elderly men. We hypothesized that maximal deadlift strength would be positively correlated to WB BMC as the deadlift exercise is a multi-joint exercise targeting many different muscle groups at once [21].

2. Material and methods

2.1. Statistical power

With type I error for two-sided tests set at 0.05, a priori power analysis showed that 32 men would have 80 % power to detect correlations between muscular strength and WB BMC (with $r = 0.40$ in men). This correlation coefficient was reported in a cross-sectional study conducted on elderly Lebanese subjects [22].

2.2. Subjects and study design

Our study included 32 healthy elderly men whose ages range between 60 and 85 years. They were randomly selected from an autonomous and independent population, living in their ordinary environment in north Lebanon. Participants were healthy and not engaged in any muscle strengthening program neither before nor during the study. Exclusion criteria included: smoking, alcoholism, history of major orthopedic problems or other disorders known to affect bone metabolism. All procedures performed were in accordance with the ethical standards of the institution and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Informed consent was obtained from all study participants. The study was approved by the Institutional Review Board (IRB) of the University of Balamand (reference number: IRB-REC/o/023-05/0923).

2.3. Measurements

Weight and height were measured, and body mass index was calculated. WB BMC was evaluated by DXA (GE Healthcare Lunar Prodigy, Madison, WI, USA). One-repetition maximum (1-RM) deadlift was directly determined as previously described [23, 24].

2.4. Statistical Analysis

Associations between clinical characteristics and WB BMC were given as Pearson correlation coefficients. Multiple linear regression analysis models were used to test the relationship of WB BMC with 1-RM deadlift and age.

3. Results

3.1. Clinical characteristics and bone variables of study population

Clinical characteristics of the study population are shown in Table 1.

Table 1. Clinical characteristics of the study population

| | Mean \pm SD |
|-------------|----------------|
| Age (years) | 66.5 \pm 6.1 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| Weight (kg) | 83.6 ± 11.3 |
| Height (cm) | 174.6 ± 7.9 |
| BMI (kg/m ²) | 27.1 ± 2.7 |
| 1-RM deadlift (kg) | 37.0 ± 7.1 |
| WB BMC (g) | 2955 ± 389 |

BMI: Body mass index; 1-RM: one-repetition maximum; WB BMC: whole body bone mineral content.

3.2. Correlations between maximal deadlift strength and bone parameters in the whole population

1-RM deadlift was positively correlated to WB BMC ($r = 0.59$; $p < 0.001$) while age was negatively correlated to WB BMC ($r = -0.40$; $p < 0.05$).

Figure 1 shows the relationship between maximal deadlift strength and whole body bone mineral content.

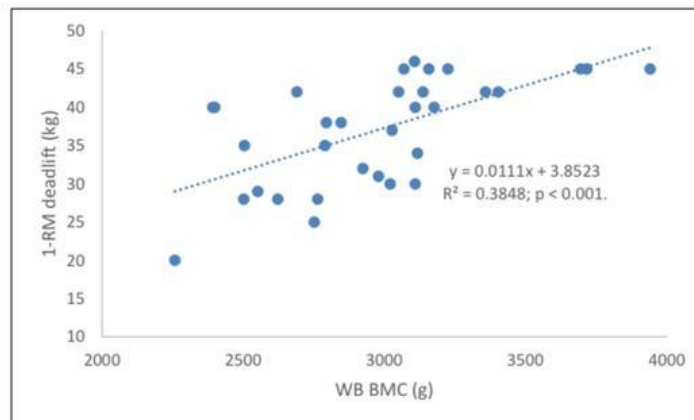


Fig. 1. : Relationship between maximal deadlift strength and whole body bone mineral content.

The positive correlation between WB BMC and 1-RM deadlift remained significant after controlling for age using a multiple linear regression analysis (Table 2).

Table 2. Multiple linear regression analysis.

| Dependent variable: WB BMC ($r^2 = 0.32$) | | | | |
|---|-------------|------|-------|---------|
| | Coefficient | SE | t | p-value |
| Constant | 2.62 | 0.99 | 2.62 | 0.01 |
| 1-RM deadlift (kg) | 0.02 | 0.00 | 2.83 | 0.008 |
| Age (years) | -0.01 | 0.01 | -0.92 | 0.36 |

1-RM: one-repetition maximum; WB BMC: whole body bone mineral content.

4. Discussion

The current study conducted on a group of healthy elderly men mainly shows a positive correlation between maximal deadlift strength and bone mass. Our results are in line with those of several studies [16-20]. Possible mechanisms underlying the positive association between maximal deadlift strength and WB BMC include mechanical and hormonal factors. The cross-sectional design of the study and the low number of subjects are the main limitations of the study. However, up to our knowledge, this is the first study that shows significant correlations between deadlift strength and bone mass in elderly men. In conclusion, the current study suggests that maximal deadlift strength is an independent determinant of bone mass in elderly men. Future longitudinal studies are needed to confirm our preliminary results.

5. Conclusion

The current study suggests that maximal deadlift strength is an independent determinant of bone mass in elderly men.

Disclosure of interest

None of the authors reported a conflict of interest related to the study. The authors would like to thank all the participants in this study.

Acknowledgements

This study was supported by a grant from the University of Balamand (RGA/FAS/19-20/016). Moreover, we gratefully acknowledge Lina Rahmé El Hage for her help in improving the quality of this manuscript.

6. References

1. Johnell O, Kanis JA. 2006 An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 17(12):1726–1733.
2. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Oden A, Melton LJ 3rd, Khaltayev N. 2008 A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone* 42(3):467–475.
3. Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. 1997 World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int* 7(5):407–413.
4. Center JR, Nguyen TV, Schneider D, Sambrook PN, Eisman JA. 1999 Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: an observational study. *Lancet* 353(9156):878–882.
5. Hasserijs R, Karlsson MK, Nilsson BE, Redlund-Johnell I, Johnell O; European Vertebral Osteoporosis Study. 2003 Prevalent vertebral deformities predict increased mortality and increased fracture rate in both men and women: a 10-year population-based study of 598 individuals from the Swedish cohort in the European Vertebral Osteoporosis Study. *Osteoporos Int* 14(1):61–68.
6. Frost SA, Nguyen ND, Center JR, Eisman JA, Nguyen TV. 2013 Excess mortality attributable to hip-fracture: a relative survival analysis. *Bone* 56(1):23–29.
7. Kannegaard PN, van der Mark S, Eiken P, Abrahamsen B. 2010 Excess mortality in men compared with women following a hip fracture. *National*

- analysis of comedications, comorbidity and survival. *Age Ageing* 39(2):203–209.
8. 8. Maalouf G, Gannagé-Yared MH, Ezzedine J, et al. 2007 Middle East and North Africa consensus on osteoporosis. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 7(2):131–143.
 9. 9. Mithal A, Bansal B, Kyer CS, Ebeling P. 2014 The Asia-Pacific Regional Audit-Epidemiology, Costs, and Burden of Osteoporosis in India 2013: A report of International Osteoporosis Foundation. *Indian J Endocrinol Metab* 18(4):449–454.
 10. 10. Baddoura R, Hoteit M, El-Hajj Fuleihan G. 2011 Osteoporotic fractures, DXA, and fracture risk assessment: meeting future challenges in the Eastern Mediterranean Region. *J Clin Densitom* 14(4):384–394.
 11. 11. Maalouf G, Bachour F, Hlais S, et al. 2013 Epidemiology of hip fractures in Lebanon: a nationwide survey. *Orthop Traumatol Surg Res* 99(6):675–680.
 12. 12. Bonjour JP, Chevalley T, Ferrari S, Rizzoli R. 2009 The importance and relevance of peak bone mass in the prevalence of osteoporosis. *Salud Publica Mex* 51 Suppl 1:S5–S17.
 13. 13. Berro AJ, El Hawly W, El Khoury G, et al. 2023 Effects of the Type of Exercise Training on Bone Health Parameters in Adolescent Girls: A Systematic Review. *J Clin Densitom* 27(1):101454.
 14. 14. Zouhal H, Berro AJ, Kazwini S, et al. 2022 Effects of Exercise Training on Bone Health Parameters in Individuals With Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol* 12:807110.
 15. 15. El Hage R, Moussa E, Hammoud A, Dandachi G, Jacob C. 2010 Birth weight is an independent determinant of whole body bone mineral content and bone mineral density in a group of Lebanese adolescent girls. *J Bone Miner Metab* 28(3):360–363.
 16. 16. Saddik H, Pinti A, Antoun A, et al. 2021 Limb Muscular Strength and Bone Mineral Density in Elderly Subjects with Low Skeletal Muscle Mass Index. *J Clin Densitom* 24(4):538–547.
 17. 17. Nasr R, Al Rassy N, Watelain E, et al. 2020 Muscular Maximal Strength Indices and Bone Variables in a Group of Elderly Women. *J Clin Densitom* 23(3):465–471.
 18. 18. Khawaja A, Sabbagh P, Prioux J, et al. 2019 Does Muscular Power Predict Bone Mineral Density in Young Adults? *J Clin Densitom* 22(3):311–320.
 19. 19. Berro AJ, Rassy NA, Ahmaidi S, et al. 2019 Physical Performance Variables and Bone Parameters in a Group of Young Overweight and Obese Women. *J Clin Densitom* 22(2):293–299.
 20. 20. El Khoury C, Pinti A, Lespessailles E, et al. 2018 Physical Performance Variables and Bone Mineral Density in a Group of Young Overweight and Obese Men. *J Clin Densitom* 21(1):41–47.
 21. 21. Martín-Fuentes I, Oliva-Lozano JM, Muyor JM. 2020 Electromyographic activity in deadlift exercise and its variants. A systematic review. *PLoS One* 15(2):e0229507.

22. 22. Antoun A, Saddick H, Nasr R, et al. 2021 Relations between maximal strength indices and bone health parameters in a group of elderly subjects. *Science & Sports* 36(1):89–93.
23. 23. Barnes MJ, Miller A, Reeve D, Stewart RJC. 2019 Acute Neuromuscular and Endocrine Responses to Two Different Compound Exercises: Squat vs. Deadlift. *J Strength Cond Res* 33(9):2381–2387.
24. 24. Schiemann S, Keiner M, Wirth K, et al. 2024 The magnitude of correlation between deadlift 1RM and jumping performance is sports dependent. *Front Sports Act Living* 6:1345213.

Etude principale 1 : Densité minérale osseuse chez des jeunes sprinteurs et des jeunes hommes actifs

Résumé

Le but de cette étude était de comparer les paramètres de santé osseuse chez des jeunes hommes pratiquant le sprint et des jeunes hommes actifs. 26 jeunes sprinteurs et 26 hommes actifs ont participé à cette étude. La composition corporelle, le contenu minéral osseux (CMO) du corps entier, la densité minérale osseuse (DMO) du rachis lombaire (L1-L4), la DMO de la hanche totale et la DMO de l'avant-bras ont été évaluées par DXA. Les paramètres de performance physique, la consommation calcique journalière, la consommation protéique journalière et le niveau usuel d'activité physique ont été évalués. L'âge, la taille, la masse maigre, le CMO du corps entier et la DMO de l'avant-bras n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. La DMO du rachis lombaire, la DMO de la hanche, la détente verticale et la force maximale des membres inférieurs étaient supérieures chez les jeunes sprinteurs par rapport aux hommes actifs. La présente étude suggère que la DMO du rachis lombaire et la DMO de la hanche sont plus élevées chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs. La présente étude a des applications pratiques dans le domaine de la prévention de l'ostéoporose masculine.



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



SHORT COMMUNICATION

Bone mineral density in young sprinters and young active men

Densité minérale osseuse chez des jeunes sprinteurs et des jeunes hommes actifs

W. El Hawly^a, G. Zunquin^a, A. Pinti^b, Z. El Hage^c, Y. Bassim^d,
R. El Hage^{e,*}

^a Laboratoire mouvement, équilibre, performance, santé (MEPS), université de Pau et des Pays de l'Adour, campus Montauray, 64600 Anglet, France

^b Laboratoire LARSH DeVisu, université polytechnique Hauts-de-France (UPHF), Valenciennes, France

^c Department of Psychology, Education and Physical Education, Faculty of Humanities, Notre Dame University, Louaize, Lebanon

^d Faculty of Medicine, University of Balamand, Kelhat El-Koura, Lebanon

^e Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, Kelhat El-Koura, Lebanon

Received 15 August 2023; accepted 7 November 2023

KEYWORDS

Peak bone mass;
Prevention of
osteoporosis;
Sprint training

Summary

Introduction. – The main aim of this study was to compare bone health parameters in young active sprinters and young active men.

Summary of facts and results. – Twenty-six young sprinters and 26 young men participated in this study. Weight and height were measured, and body mass index (BMI) was calculated. Body composition, whole body (WB) BMC, lumbar spine (L1–L4) BMD, total hip (TH) BMD and forearm BMD were evaluated by DXA. Physical performance variables, daily calcium intake, daily protein intake and physical activity level were assessed. Age, height, lean mass, WB BMC and forearm BMD were not significantly different between the two groups. L1–L4 BMD, TH BMD, vertical jump and maximal strength of the lower limbs were higher in sprinters compared to active men.

Conclusion. – The current study suggests that sprinters have higher lumbar spine and hip BMD values compared to active men. The current study has several implications in the field of prevention of osteoporosis in men.

© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

* Corresponding author. Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, P.O. Box 100, Tripoli, Lebanon.

E-mail address: rawadelhage21@hotmail.com (R. El Hage).

<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.11.002>

0765-1597/© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Please cite this article as: W. El Hawly, G. Zunquin, A. Pinti et al., Bone mineral density in young sprinters and young active men, *Sci sports*, <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.11.002>

MOTS CLÉS

Pic de masse osseuse ;
Prévention de l'ostéoporose ;
Entraînement en sprint

Résumé

Introduction. – Le but de cette étude était de comparer des marqueurs de santé osseuse chez des jeunes hommes pratiquant le sprint et des jeunes hommes actifs.

Synthèse des faits et résultats. – Vingt-six jeunes sprinteurs et 26 hommes actifs ont participé à cette étude. La composition corporelle, le contenu minéral osseux (CMO) du corps entier, la densité minérale osseuse (DMO) du rachis lombaire (L1–L4), la DMO de la hanche totale et la DMO de l'avant-bras ont été évaluées par DXA. Les paramètres de performance physique, la consommation calcique journalière, la consommation protéique journalière et le niveau d'activité physique ont été évalués. L'âge, la taille, la masse maigre, le CMO du corps entier et la DMO de l'avant-bras n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. La DMO du rachis lombaire, la DMO de la hanche, la détente verticale et la force maximale des membres inférieurs étaient supérieures chez les jeunes sprinteurs par rapport aux hommes actifs.

Conclusion. – La présente étude suggère que la DMO du rachis lombaire et la DMO de la hanche sont plus élevées chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs. Ces résultats ont des applications pratiques dans le domaine de la prévention de l'ostéoporose masculine.

© 2024 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Introduction

Osteoporosis is a prevalent disease in elderly men [1–3]. Using the World Health Organization (WHO) definition of osteoporosis, the disease affects approximately 6.3% of men over the age of 50 and 21.2% of women over the same age range globally [1–3]. Although the overall prevalence of fragility fractures is higher in women, men generally have higher rates of fracture related mortality [2]. Peak bone mass is a strong predictor of fracture risk later in life [1–3]. Peak bone mass is positively correlated to body weight, lean mass and muscular strength/power as previously shown by several cross-sectional and longitudinal studies [1–4]. Physical activity practice has a clear and significant effect on bone mineral density (BMD) values [5,6]. The effectiveness of physical activity on BMD depends on several factors and has been elaborated by several studies [5,6]. In practice, physical activities characterized by high ground reaction force, hip and spine bone loading unit values seem to exert strong effects on lumbar spine and hip BMD values while racket sports seem to exert a strong effect on forearm BMD [5,6]. For instance, sprinting is characterized by high ground reaction force, hip and spine bone loading unit values [5,6]. As such, sprinters seem to have high hip and lumbar spine BMD values compared to inactive subjects and to athletes who perform non-impact sports [7]. We have shown that sprinting performance is positively correlated to many bone variables in several populations [1,8]. In addition, we have recently demonstrated that a one-year sprint training program improves whole body BMC and lumbar spine BMD in a group of young overweight men [9]. The main aim of the current study was to compare bone health parameters and physical performance parameters in young active sprinters and young active men. We hypothesized that young sprinters would have greater lumbar spine and hip BMD values compared to young active men. Compared to a previous study conducted on master sprinters [7], it is essential to highlight that the present study concerns young sprinters.

2. Materials and methods

In the current study, all participants were recruited from several clubs located in Beirut, Lebanon. The participants were healthy men aged between 18 and 34 years and not suffering from any chronic health disease. All participants had no history of major orthopedic problems or other disorders that affect bone metabolism including diabetes. Subjects with any medical condition likely to affect bone metabolism including history of chronic disease with vital organ involvement or intake of medications that may affect bone metabolism were excluded. Before any evaluation, all subjects received a description of the study, its purpose and procedures, and they were well informed about the objective of the study including the risks and benefits of participation. Fifty-two young men whose ages range from 18 to 34 years participated in the study. Subjects were assigned to two groups based on their current and past physical activity (PA) practice: sprinters ($n=26$) or active group ($n=26$). The sprinters were regular participants in national or regional competitions. They had been training in their clubs 4 to 6 times per week, for 6–9 h/week for at least the past 5–10 years. Subjects who do at least 150 mins of moderate-intensity aerobic PA throughout the week or at least 75 mins of vigorous-intensity aerobic PA throughout the week or an equivalent combination of moderate- and vigorous-intensity activity were considered active. The work described has been carried out in accordance with the declaration of Helsinki. A written informed consent was obtained from all participants before the start of the study.

Weight and height were measured, and body mass index (BMI) was calculated. Body composition, whole body (WB) BMC, lumbar spine (L1–L4) BMD, total hip (TH) BMD and forearm BMD were evaluated by DXA (Stratos, Diagnostic Medical Systems, Pérols, France). BMD Z-scores were calculated accordingly. Physical performance variables (horizontal jump [in meters], vertical jump [in centimeters], triple jump [in meters], 20 m sprinting performance [duration in seconds], 1-RM half-squat [in kilograms] and 1-RM

Table 1 Clinical characteristics and bone variables of the study population.

| | Sprinters' group (n = 26) Mean ± SD | Active group (n = 26) Mean ± SD | p-value |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|-------------------|
| Age (years) | 23.7 ± 4.8 | 22.8 ± 2.6 | 0.347 |
| Weight (kg) | 73.1 ± 5.3 | 78.3 ± 9.4 | 0.004 |
| Height (cm) | 179 ± 7 | 176 ± 6 | 0.150 |
| BMI (kg/m ²) | 22.8 ± 1.6 | 25.2 ± 2.6 | < 0.001 |
| Lean mass (g) | 60131 ± 4316 | 57574 ± 6914 | 0.096 |
| Fat mass (g) | 10861 ± 1891 | 22968 ± 7579 | < 0.001 |
| Fat mass (%) | 15.2 ± 2.0 | 28.1 ± 7.6 | < 0.001 |
| WB BMC (g) | 2383 ± 225 | 2287 ± 326 | 0.270 |
| L1–L4 BMD (g/cm ²) | 1.271 ± 0.153 | 1.091 ± 0.146 | < 0.001 |
| L1–L4 BMD Z-score | 1.185 ± 1.082 | −0.069 ± 1.012 | < 0.001 |
| TH BMD (g/cm ²) | 1.261 ± 0.129 | 1.154 ± 0.148 | 0.015 |
| TH BMD Z-score | 0.685 ± 0.743 | 0.100 ± 0.848 | 0.011 |
| Forearm BMD (g/cm ²) | 0.625 ± 0.060 | 0.597 ± 0.048 | 0.072 |
| Forearm BMD Z-score | −0.900 ± 1.088 | −1.369 ± 0.868 | 0.092 |
| Vertical jump (cm) | 59.6 ± 7.1 | 47.0 ± 4.0 | < 0.001 |
| Standing long jump (m) | 2.78 ± 0.21 | 2.30 ± 0.30 | < 0.001 |
| Triple jump (m) | 8.26 ± 0.57 | 7.23 ± 0.49 | < 0.001 |
| 20m sprint duration (s) | 3.17 ± 0.14 | 3.64 ± 0.23 | < 0.001 |
| 1-RM squat (kg) | 124.8 ± 36.6 | 99.1 ± 41.6 | 0.039 |
| 1-RM deadlift (kg) | 136.8 ± 26.2 | 102.6 ± 43.6 | 0.003 |
| 1-RM bench press (kg) | 81.6 ± 17.6 | 83.7 ± 24.0 | 0.701 |
| VO ₂ max (mL/min/kg) | 49.4 ± 3.7 | 48.3 ± 5.5 | 0.348 |
| DPI (g/day) | 102.6 ± 26.5 | 74.4 ± 21.3 | < 0.001 |
| DCI (mg/day) | 1382.2 ± 617.3 | 808.7 ± 268.3 | < 0.001 |
| PSQI | 4.6 ± 2.3 | 5.0 ± 2.4 | 0.646 |
| Physical activity (h/week) | 17.2 ± 9.4 | 12.8 ± 4.7 | 0.047 |
| Total BPAQ score | 13.1 ± 7.7 | 7.1 ± 5.1 | 0.001 |
| Current BPAQ score | 9.6 ± 3.5 | 6.2 ± 3.5 | 0.001 |
| Past BPAQ score | 16.4 ± 13.1 | 8.5 ± 9.2 | 0.01 |
| Sitting time (h/day) | 4.8 ± 2.0 | 4.0 ± 2.2 | 0.074 |

SD: standard deviation; BMI: body mass index; WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L1–L4: lumbar spine; TH: total hip; RM: repetition maximum; VO₂ max: maximum oxygen consumption; DPI: daily protein intake; DCI: daily calcium intake; PSQI: Pittsburgh sleep quality index; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire. In bold, significant differences between the 2 groups.

deadlift [in kilograms]) were evaluated using validated protocols [1]. We directly assessed maximum oxygen consumption (VO₂ max in mL/min/kg) of the participants using a Cosmed Fitmate pro device (version 2.20) while exercising on a bicycle ergometer (Siemens-Elema RE 820; Rodby Elektronik AB, Enhorna, Sweden). A progressive 2-min step protocol (20–30 W/step) was used. Daily calcium intake (DCI), daily protein intake (DPI), Pittsburgh sleep quality index (PSQI), physical activity level (h/week), bone-specific physical activity questionnaire (BPAQ) scores and sitting time were assessed using validated questionnaires [1,6].

The means and standard deviations of the means (SD) were calculated for all studied parameters. The Shapiro-Wilk test was used to evaluate for normality of all variables. Comparisons between the 2 groups (sprinters vs. active men) were made after checking for Gaussian distribution. The use of unpaired *t*-tests was required in case Gaussian distribution was found. If not, Mann-Whitney U-tests were used. Pearson's Test was used to compute univariate correlations. All analyses were performed using SigmaStat

software (SigmaStat for Windows, Version 3.11, Systat Software, Inc.). The level of significance was set at *p* < 0.05.

3. Results

Age, height, lean mass, WB BMC, forearm BMD, 1-RM bench press, VO₂ max, PSQI and sitting time were not significantly different between the two groups. Weight, BMI, fat mass and fat mass percentage were higher in active subjects compared to sprinters. L1–L4 BMD, TH BMD, vertical jump, standing long jump, triple jump, 1-RM squat, 1-RM deadlift, DCI, DPI, physical activity level, total BPAQ score, current BPAQ score and past BPAQ score were higher in sprinters compared to active subjects (Table 1).

In the whole population (*n* = 52), weight was positively correlated to WB BMC while lean mass was positively correlated to WB BMC, L1–L4 BMD, TH BMD and forearm BMD. Fat mass and fat mass percentage were negatively correlated to L1–L4 BMD and TH BMD. 1-RM deadlift was positively

Table 2 Correlations between clinical parameters and bone parameters in the whole population.

| | WB BMC (g) | L1–L4 BMD (g/cm ²) | TH BMD (g/cm ²) | Forearm BMD (g/cm ²) |
|------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Weight (kg) | 0.52*** | 0.03 | 0.00 | 0.12 |
| Lean mass (kg) | 0.65*** | 0.43** | 0.32* | 0.41** |
| Fat mass (kg) | 0.02 | -0.42** | -0.36** | -0.25 |
| Fat mass percentage | -0.10 | -0.48*** | -0.39* | -0.31* |
| 1-RM squat (kg) | 0.15 | 0.11 | 0.00 | 0.06 |
| 1-RM deadlift (kg) | 0.27 | 0.31* | 0.11 | 0.26 |
| 1-RM bench press (kg) | 0.13 | -0.00 | -0.05 | 0.16 |
| Vertical jump (cm) | 0.30* | 0.44*** | 0.48*** | 0.27* |
| Standing long jump (m) | 0.46*** | 0.51*** | 0.51*** | 0.37** |
| Triple jump (m) | 0.50*** | 0.56*** | 0.52*** | 0.42** |
| DCI (mg/day) | 0.08 | 0.31* | 0.25 | 0.05 |
| DPI (g/day) | 0.06 | 0.26 | 0.09 | 0.04 |
| PA (h/week) | 0.21 | 0.17 | 0.15 | 0.15 |
| Total BPAQ score | 0.30* | 0.40** | 0.30* | 0.40** |
| Current BPAQ score | 0.19 | 0.31* | 0.27* | 0.22 |
| Past BPAQ score | 0.30* | 0.35* | 0.25 | 0.39** |

WB BMC: whole body bone mineral content; L1–L4 BMD: lumbar spine bone mineral density; TH BMD: total hip bone mineral density; 1-RM: one-repetition maximum; DCI: daily calcium intake; DPI: daily protein intake; PA: physical activity; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire. Significant correlations are shown in bold.

* $p < 0.05$.

** $p < 0.01$.

*** $p < 0.001$.

correlated to L1–L4 BMD. Vertical jump, standing long jump, triple jump and total BPAQ score were positively correlated to WB BMC, L1–L4 BMD, TH BMD and forearm BMD (Table 2).

4. Discussion

The purpose of the current study was to compare bone health parameters and physical performance parameters in young active sprinters and young active men. L1–L4 BMD and TH BMD were higher in sprinters compared to active subjects while WB BMC and forearm BMD were not significantly different between the two groups. Accordingly, sprint training seems to have a site-specific effect on BMD. The largest effect seems to be located on the lumbar spine BMD. Metabolic activity is well-known to be higher in trabecular bone compared to cortical bone [9]. Sprint training increases mechanical stimuli on the hip and the lumbar spine especially in overweight or obese subjects [3,9,10]. In addition, a recent study has shown that sprint training decreases subcutaneous adipose tissue sclerostin levels [10]. Interestingly, inhibiting sclerostin has been used as a therapeutic target for treating low bone mass [10]. Physical activities with high ground reaction forces inhibit secretion of sclerostin and promote increased BMD [10]. We have recently demonstrated that a one-year sprint training program improves whole body bone mineral content, lumbar spine BMD and physical performance variables but does not significantly modify body composition in young overweight men [9].

Physical performances such as vertical jump, standing long jump, triple jump, 1-RM squat and 1-RM deadlift were greater in sprinters compared to active men highlighting that sprinters have greater lower limb maximal and explosive strength compared to active men. Interestingly, lower

limb maximal strength and hip and lumbar spine BMD were greater in sprinters compared to active men despite body weight being greater in active men compared to sprinters. The latter confirms that lower limb relative strength, hip BMD/body weight and lumbar spine BMD/body weight ratios are elevated in sprinters. This result seems reasonable as sprinting is highly correlated to maximum relative power of the lower limbs.

Jumping performances were the strongest correlates of lumbar spine and hip BMD values while lean mass and body weight were the strongest predictors of WB BMC. Total BPAQ score was positively correlated to WB BMC, lumbar spine BMD and total forearm BMD. This result highlights the importance of this questionnaire and confirms its utility. Up to our knowledge, this is the first study to evaluate BPAQ scores in sprinters.

Fat mass and fat mass percentage were negatively correlated to lumbar spine and hip BMD. Fat mass excess seems to exert a negative effect on BMD especially in men as this relationship seems to be gender specific [1–4]. Fat mass excess is associated with lower growth hormone and free testosterone levels in men [3]. Moreover, obesity is associated with chronic inflammation; adipocytes secrete proinflammatory cytokines which can promote osteoclast activity and bone resorption [3]. In addition, it has been demonstrated that obesity and osteoporosis may be associated with increased production of proinflammatory cytokines and elevated oxidative stress [3].

In conclusion, the current study suggests that sprinters have higher lumbar spine and hip BMD values compared to active men. Sprint training during adolescence and young adulthood seems to have a preventive role against osteoporosis/osteopenia in men. Future longitudinal studies are needed to confirm our preliminary results.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

References

- [1] Finianos B, Sabbagh P, Zunquin G, El Hage R. Muscular power and maximum oxygen consumption predict bone density in a group of middle-aged men. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2020;20(1):53–61.
- [2] Center JR, Nguyen TV, Schneider D, Sambrook PN, Eisman JA. Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: an observational study. *Lancet* 1999;353(9156):878–82.
- [3] Zouhal H, Berro AJ, Kazwini S, et al. Effects of exercise training on bone health parameters in individuals with obesity: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol* 2022;12:807110.
- [4] Sutter T, Toumi H, Valery A, El Hage R, Pintí A, Lespessailles E. Relationships between muscle mass, strength and regional bone mineral density in young men. *PLoS One* 2019;14(3):e0213681.
- [5] Dolan SH, Williams DP, Ainsworth BE, Shaw JM. Development and reproducibility of the bone loading history questionnaire. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(6):1121–31.
- [6] Weeks BK, Beck BR. The BPAQ: a bone-specific physical activity assessment instrument. *Osteoporos Int* 2008;19(11):1567–77.
- [7] Piasecki J, McPhee JS, Hannam K, et al. Hip and spine bone mineral density are greater in master sprinters, but not endurance runners compared with non-athletic controls. *Arch Osteoporos* 2018;13(1):72.
- [8] Finianos B, Sabbagh P, Zunquin G, El Hage R. Relationships between sprinting performance and composite indices of femoral neck strength in a group of young adults. *Sci Sports* 2021;36(4):325–6.
- [9] Kamlé P, Pintí A, El Hage Z, Khalil N, Toumi H, El Hage R. A one-year sprint training program improves bone mineral density in a group of young overweight men. *Sci Sports* 2023;38(5–6):640–2.
- [10] Kurgan N, Islam H, Matusiak JBL, et al. Subcutaneous adipose tissue sclerostin is reduced and Wnt signaling is enhanced following 4-weeks of sprint interval training in young men with obesity. *Physiol Rep* 2022;10(6):e15232.

Etude principale 2 : Densité minérale osseuse chez des anciens sprinteurs et des hommes actifs

Résumé

Le but de cette étude était de comparer les paramètres de santé osseuse (contenu minéral osseux du corps entier [CMO CE], densité minérale osseuse du rachis lombaire [DMO L1-L4], densité minérale osseuse de la hanche totale [DMO HT] et densité minérale de l'avant-bras) chez des hommes actifs (n = 22) et des anciens sprinteurs (n = 22). Les participants à l'étude étaient 44 hommes ; leur âge variait de 40 à 50 ans. L'absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) a été utilisée pour évaluer la composition corporelle et la DMO. Des tests de performance physique ont été utilisés pour évaluer la détente verticale (DV), la détente horizontale (DH), le triple saut (TS), la force maximale en squat, la force maximale au développé couché, la force maximale en soulevé de terre, la performance au sprint (20 mètres) et la consommation maximale d'oxygène (VO_2 max, L/min). Les variables de force maximale, la masse maigre et les paramètres osseux n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. Les détentes horizontale et verticale, la performance en sprint et la VO_2 max étaient supérieures chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs. Après ajustement pour l'âge, le poids corporel, l'activité physique totale et l'activité physique intense, les valeurs de CMO CE étaient supérieures chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs. La présente étude suggère qu'un passé de sprinteur est associée à une meilleure masse osseuse.

Bone mineral density in middle-aged former sprinters and middle-aged active men

Wassim El Hawly¹, Gautier Zunquin¹, Antonio Pinti^{2*}, Zaher El Hage³, Youssef

Bassim⁴, Rawad El Hage⁵

1. Laboratoire Mouvement, Equilibre, Performance, Santé (MEPS), Université de Pau et des pays de l'Adour, Campus Montaury Anglet, France.
2. Laboratoire LARSH DeVisu, Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF), Valenciennes, France.
3. Department of Psychology, Education and Physical Education, Faculty of Humanities, Notre Dame University, Louaize, Lebanon.
4. Faculty of Medicine, University of Balamand, Kelhat El-Koura, Lebanon.
5. Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, Kelhat El-Koura, Lebanon.

* Corresponding author: antonio.pinti@uphf.fr

Abstract. The purpose of this study was to compare bone health parameters (whole body bone mineral content [WB BMC], lumbar spine bone mineral density [L1-L4 BMD], total hip bone mineral density [TH BMD] and forearm BMD) in middle-aged active men (n = 22) and middle-aged former sprinters (n = 22). The participants of the study were 44 middle-aged men; their ages ranged from 40 to 50 years. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) was used to evaluate body composition and BMD values. Physical performance tests were used to evaluate vertical jump (VJ), horizontal jump (HJ), triple jump (TJ), maximal squat strength (1-RM squat), maximal bench press strength (1-RM bench press), maximal deadlift strength (1-RM deadlift), sprinting performance (20 meters), and maximum oxygen consumption (VO₂ max, L/min). Maximal strength variables, lean mass and bone parameters were not different between two groups. Jumping performances, sprinting performance and VO₂ max were greater in former sprinters compared to active men. After adjustment for body weight, age, total physical activity and intense physical activity, former sprinters exhibited greater WB BMC values compared to active men. The present study suggests that former sprinting practice is associated with greater bone mass in middle-aged men.

Keywords: Osteoporosis; DXA; Mechanical loading; Residual training effect; Peak bone mass.

1. Introduction

Osteoporosis is a worldwide disease characterized by a reduction in bone mineral density (BMD) and an alteration of bone microarchitecture resulting in increased bone fragility and an increased fracture risk [1]. Using the world health organization (WHO) definition of osteoporosis, the disease affects approximately 6.3% of men over the age of 50 and 21.2% of women over the same age range globally [1]. Although the overall prevalence of fragility fractures is higher in women, men generally have higher rates of fracture related mortality [1-3].

BMD values are influenced by genetics, age, gender, hormones, nutritional factors and mechanical factors [1-3]. Physical activity appears to play an important role in maximizing bone mass during childhood and the early adult years, maintaining bone mass through the fifth decade, attenuating bone loss with aging, and reducing falls and fractures in the elderly [3]. In evaluating the osteogenic effects of exercise training programs, the following principles should be noted: specificity, overload and reversibility [3].

In general, BMD improvements are strongly correlated with the practice of high-impact sports such as soccer or gymnastics but not correlated with the practice of non-weight-bearing ones such as swimming or cycling [3, 4]. For instance, sprinting is characterized by high ground reaction force, hip and spine bone loading unit values [5]. As such, sprinters seem to have high hip and lumbar spine BMD values compared to inactive subjects and to athletes who perform non-impact sports [6]. We have recently demonstrated that a one-year sprint training program improves whole body bone mineral content, lumbar spine BMD and physical performance variables but does not significantly modify body composition in young overweight men [7]. In addition, a recent study suggested that young sprinters have higher lumbar spine and hip BMD values compared to young active men [8]. Although several studies have compared bone health parameters in sprinters and controls, none of these studies compared bone health parameters in middle-aged former sprinters and middle-aged active men. Previous studies have shown that exercise before and during puberty may confer residual benefits in bone mass/BMD in adulthood [2, 3]. Former professional players who remained physically active in their middle-age have a favorable body composition and reduced risk factors for osteoporosis compared with healthy age- and body mass index (BMI)- matched men [9]. Moreover, another study demonstrated that male athletes and those participating in lower limb power-based rather than endurance-based disciplines have better maintenance of bone compressive strength [10]. The aim of the current study was to compare bone health parameters in middle-aged active men and middle-aged former sprinters. Since sprint training has been shown to positively affect lumbar spine BMD [6-8], we hypothesized that former sprinters would have greater lumbar spine BMD values compared to active men

2. Material and methods

2.1. Subjects and study design

In the current study, all participants were recruited from several clubs located in Beirut, Lebanon. The participants were healthy middle-aged men aged between 40 and 50 years and not suffering from any chronic health disease. All participants had no history of major orthopedic problems or other disorders that affect bone metabolism including diabetes. Subjects with any medical condition likely to affect bone metabolism including history of chronic disease with vital organ involvement or intake of medications that may affect bone metabolism were excluded. Before any evaluation, all subjects received a description of the study, its purpose and procedures, and they were well informed about the objective of the study including the risks and benefits of participation. Forty-four middle-aged men whose ages range from 40 to 50 years participated in the study. Subjects were assigned to two groups based on their current and past physical activity (PA) practice: former sprinters ($n = 22$) or active men ($n = 22$). The former sprinters were middle-aged men who had practiced sprinting for at least 10 consecutive years; this practice started when the subjects were adolescents. The former sprinters had regularly participated in national competitions while training, and their training took place in their clubs 4 to 6 times per week, for 6–9 h/week for at least 10 years. Subjects who do at least 150 minutes of moderate-intensity aerobic PA throughout the week or at least 75 minutes of vigorous-intensity aerobic PA throughout the week or an equivalent combination of moderate- and vigorous-intensity activity were considered active (active men). The work described has been carried out in accordance with the declaration of Helsinki. A written informed consent was obtained from all participants before the start of the study. The study was approved by the Institutional Review Board (IRB) of the University of Balamand Lebanon (reference number: IRB-REC/o/023-05/0923).

2.2. Measurements

Weight and height were measured, and body mass index (BMI) was calculated. Body composition, whole body (WB) BMC, lumbar spine (L1-L4) BMD, total hip (TH) BMD and forearm BMD were evaluated by DXA (Stratos, Diagnostic Medical Systems, Pérols, France). BMD Z-scores and BMD T-scores were calculated accordingly. Physical performance variables (horizontal jump (in meters), vertical jump (in centimeters), triple jump (in meters), 20m sprinting performance (duration in seconds), 1-RM half-squat (in kilograms) and 1-RM deadlift (in kilograms)) were evaluated using validated protocols [2, 8]. We directly assessed maximum oxygen consumption (VO_2 max in ml/min/kg) of the participants using a Cosmed Fitmate pro device (version 2.20) while exercising on a bicycle ergometer (Siemens-Elema RE 820; Rodby Elektronik AB, Enhorna, Sweden). A progressive 2-min step protocol (20-30 Watts/step) was used. Daily calcium intake (DCI), daily protein intake (DPI), Pittsburgh sleep quality index (PSQI), physical activity level (h/week), bone-specific physical activity

questionnaire (BPAQ) scores and sitting time were assessed using validated questionnaires [2, 5, 8].

2.3. Statistical Analysis

The means and standard deviations of the means (SD) were calculated for all studied parameters. The Shapiro-Wilk test was used to evaluate for normality of all variables. Comparisons between the 2 groups (former sprinters vs. active men) were made after checking for Gaussian distribution. The use of unpaired t-tests was required in case Gaussian distribution was found. If not, Mann-Whitney U-tests were used. Pearson's Test was used to compute univariate correlations. Bone variables were compared between the two groups (former sprinters vs. active men) after adjustment for age, body weight, total physical activity (h/week) and intense physical activity (h/week) using a one-way analysis of covariance (ANCOVA). All analyses were performed using SigmaStat software (SigmaStat for Windows, Version 3.11, Systat Software, Inc.). The level of significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

3.1. Clinical characteristics and bone variables of study population

Age, height, lean mass, sleep duration, PSQI, total BPAQ score, past BPAQ score, maximal strength indices and bone parameters were not significantly different between the two groups. Weight, BMI, fat mass and fat mass percentage were significantly higher in active men compared to former sprinters. DCI, DPI, sitting time, intense physical activity (h/week), physical activity duration (h/week), current BPAQ score, jumping performances and VO_2 max were significantly higher in former sprinters compared to active men (Table 1).

Table 1. Clinical characteristics and bone variables of study population

| | Former sprinters (n = 22) | Active men (n= 22) | p-value |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| | Mean \pm SD | Mean \pm SD | |
| Age (years) | 45.1 \pm 2.8 | 44.0 \pm 3.5 | 0.25 |
| Weight (kg) | 76.5 \pm 9.7 | 84.1 \pm 13.7 | 0.04 |
| Height (m) | 173.7 \pm 4.4 | 174.0 \pm 7.2 | 0.88 |
| BMI (kg/m ²) | 25.3 \pm 3.2 | 27.7 \pm 3.9 | 0.03 |

| | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| Lean mass (kg) | 56.565 ± 5.598 | 56.860 ± 6.833 | 0.87 |
| Fat mass (kg) | 22.684 ± 6.485 | 27.866 ± 8.205 | 0.02 |
| Fat mass (%) | 28.2 ± 5.7 | 32.3 ± 5.2 | 0.01 |
| DCI (mg/day) | 1814 ± 566 | 1177 ± 486 | <0.001 |
| DPI (g/day) | 98.9 ± 19.7 | 76.8 ± 20.6 | <0.001 |
| PSQI | 3.7 ± 2.0 | 2.8 ± 1.7 | 0.11 |
| Sleep duration (h/day) | 6.6 ± 1.2 | 6.2 ± 1.1 | 0.21 |
| Intense PA (h/week) | 3.45 ± 4.18 | 0.90 ± 2.45 | 0.01 |
| Moderate PA (h/week) | 4.97 ± 6.01 | 4.11 ± 4.02 | 0.57 |
| Walking (h/week) | 6.3 ± 7.8 | 4.2 ± 7.6 | 0.24 |
| Total PA (h/week) | 14.7 ± 9.5 | 9.3 ± 4.6 | 0.02 |
| Sitting Time (h/day) | 6.0 ± 3.8 | 4.0 ± 2.9 | 0.04 |
| Past BPAQ score | 16.6 ± 1.8 | 15.9 ± 0.9 | 0.10 |
| Current BPAQ score | 2.65 ± 1.25 | 1.87 ± 0.81 | 0.01 |
| Total BPAQ score | 9.54 ± 1.68 | 8.68 ± 1.43 | 0.07 |
| VJ (cm) | 38.6 ± 2.7 | 34.2 ± 6.0 | 0.003 |
| HJ (m) | 2.40 ± 0.27 | 2.15 ± 0.35 | 0.01 |
| Triple jump (m) | 7.78 ± 1.16 | 6.96 ± 1.41 | 0.04 |
| 20-meter sprint (s) | 3.41 ± 0.23 | 3.73 ± 0.47 | 0.007 |
| 1-RM squat (kg) | 70.0 ± 12.9 | 68.5 ± 17.8 | 0.76 |
| 1-RM deadlift (kg) | 66.3 ± 10.2 | 64.5 ± 19.2 | 0.69 |
| 1-RM bench press (Kg) | 62.4 ± 12.1 | 65.4 ± 17.7 | 0.51 |
| VO ₂ max (ml/min/kg) | 52.4 ± 11.3 | 35.8 ± 8.5 | <0.001 |
| WB BMC (g) | 2302 ± 222 | 2275 ± 253 | 0.70 |

| | | | | |
|----------------------------------|--|----------------|----------------|------|
| L1-L4 BMD (g/cm ²) | | 1.072 ± 0.128 | 1.016 ± 0.141 | 0.17 |
| L1-L4 BMD T-score | | -0.250 ± 0.866 | -0.577 ± 0.985 | 0.24 |
| L1-L4 BMD Z-score | | 0.04 ± 0.86 | -0.33 ± 0.95 | 0.17 |
| TH BMD (g/cm ²) | | 1.094 ± 0.123 | 1.077 ± 0.162 | 0.69 |
| TH BMD T-score | | -0.191 ± 0.707 | -0.282 ± 0.908 | 0.71 |
| TH BMD Z-score | | 0.022 ± 0.705 | -0.081 ± 0.901 | 0.67 |
| Forearm BMD (g/cm ²) | | 0.625 ± 0.054 | 0.651 ± 0.068 | 0.16 |
| Forearm BMD T-score | | -0.914 ± 0.978 | -0.355 ± 1.364 | 0.12 |
| Forearm BMD Z-score | | -0.527 ± 0.955 | -0.000 ± 1.304 | 0.14 |

BMI: Body mass index; DCI: Daily calcium intake; DPI: Daily protein intake; WB: Whole body; WB BMC: Whole body bone mineral content; L1-L4: Lumbar spine; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire; VJ: Vertical jump; HJ: Horizontal jump; 1-RM: One-repetition maximum; VO2 max: maximum oxygen consumption; TH BMD: Total hip bone mineral density.

3.2. Correlations between clinical characteristics and bone parameters in the whole population

Weight, BMI, lean mass, fat mass, 1-RM bench press, 1-RM squat and 1-RM deadlift were positively correlated to WB BMC. Intense physical activity was positively correlated to L1-L4 BMD. 1-RM bench press was positively correlated to forearm BMD (Table 2). Daily calcium intake, daily protein intake, BPAQ scores and sleep parameters (duration and quality) were not correlated to bone parameters.

Table 2. Correlations between clinical characteristics and bone parameters in the whole population

| | WB BMC (g) | L1-L4 BMD (g/cm ²) | TH BMD (g/cm ²) | Forearm BMD (g/cm ²) |
|-------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Age (years) | -0.05 | -0.05 | 0.02 | -0.24 |
| Weight (kg) | 0.69 *** | 0.20 | 0.20 | 0.28 |

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|-------|---------------|
| BMI (kg/m ²) | 0.52 *** | 0.20 | 0.24 | 0.25 |
| Lean mass (kg) | 0.74 *** | 0.23 | 0.24 | 0.13 |
| Fat mass (kg) | 0.50 *** | 0.14 | 0.15 | 0.26 |
| Fat mass (%) | 0.27 | 0.06 | 0.08 | 0.23 |
| Physical activity (h/week) | -0.00 | 0.21 | 0.11 | 0.00 |
| Intense physical activity (h/week) | 0.02 | 0.36 * | 0.19 | 0.07 |
| Total BPAQ score | 0.04 | 0.05 | 0.25 | 0.00 |
| 1-RM squat (kg) | 0.39 ** | 0.15 | 0.04 | 0.17 |
| 1-RM deadlift (kg) | 0.40 ** | 0.13 | 0.00 | 0.21 |
| 1-RM bench press (kg) | 0.36 * | 0.03 | 0.01 | 0.35 * |
| VO ₂ max (ml/min/kg) | -0.01 | 0.18 | 0.11 | -0.19 |
| VJ (cm) | 0.03 | 0.17 | 0.05 | 0.12 |
| HJ (m) | -0.03 | 0.11 | 0.13 | 0.02 |
| Triple jump (m) | 0.07 | 0.13 | 0.16 | 0.09 |
| 20-m sprint (s) | -0.14 | -0.28 | -0.11 | -0.16 |

BMI: Body mass index; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire; 1-RM: One-repetition maximum; VO_2 max: maximum oxygen consumption; VJ: Vertical jump; HJ: Horizontal jump; WB BMC: Whole body bone mineral content; BMD: Bone mineral density; TH BMD: Total hip bone mineral density; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

3.3. Bone variables adjusted for body weight and age

After adjustment for body weight, age, total physical activity (h/week) and intense physical activity (h/week), former sprinters exhibited greater WB BMC values (2342 ± 33 vs. 2235 ± 33 ; $p < 0.05$) compared to active men, while lumbar spine BMD, TH BMD and forearm BMD values were not significantly different between the two groups.

4. Discussion

The present study mainly shows that former middle-aged sprinters have greater WB BMC values compared to middle-aged active men. Thus, the current study suggests that former sprinting practice is associated with greater bone mass in middle-aged men. Lean mass and crude bone parameters were not significantly different between the two groups. However, weight, BMI and fat mass were higher in active men compared to former sprinters while total physical activity (h/week) and intense physical activity (h/week) were higher in former sprinters compared to active men. As such, we decided to compare bone parameters between the two groups after adjusting for weight, age, total physical activity and intense physical activity. Accordingly, WB BMC values became higher in former sprinters compared to active men after this aforementioned adjustment using an ANCOVA. The mechanisms by which sprint training affects bone parameters have been previously described and include mechanical and endocrine factors [3-8]. Interestingly, jumping performances, sprinting performances and VO_2 max were greater in former sprinters compared to active men highlighting the importance of sprint training on physical performance parameters. Weight, BMI, lean mass, fat mass, 1-RM bench press, 1-RM squat and 1-RM deadlift were positively correlated to WB BMC. In addition, lean mass was the strongest predictor of WB BMC in our study; this result is in line with those of several studies [2, 4]. Intense physical activity was positively correlated to L1-L4 BMD. Exercise intensity is a major parameter affecting the osteogenic effect of exercise training programs [3]. 1-RM bench press was positively correlated to forearm BMD. This result highlights the importance of specificity in evaluating the osteogenic effects of exercise training programs. The current study has several limitations. First, the level of evidence provided by such types of studies is relatively intermediate. Second, several hormones related to bone health were not evaluated in this study. Third, bone geometric and micro-architectural parameters were not measured in this study. But, based on our information, comparing bone health parameters in active middle-aged men and middle-aged former sprinters has been done for the first time in this study.

5. Conclusion

In conclusion, the present study shows that whole body bone mineral content values are greater in middle-aged former sprinters compared to middle-aged active men. The results received are the only ones so far to show that regular sprint practice before the young adulthood period may confer residual benefits in bone health parameters in middle-aged men. Therefore, it is our belief that practicing sprint while a male is still in his adolescence and young adulthood years could have a preventive effect against fractures resulting from osteoporosis later in life. The designation of exercise programs during adolescence and young adulthood should be adapted accordingly. Future studies are needed to confirm whether such conclusions can also be drawn in middle-aged women and men practicing other weight-bearing sports.

Disclosure of interest

None of the authors reported a conflict of interest related to the study.
The authors would like to thank all the participants in this study.

6. References

1. Center JR, Nguyen TV, Schneider D, Sambrook PN, Eisman JA. Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: an observational study. *Lancet* 1999;353(9156):878–882.
2. Finianos B, Zunquin G, El Hage R. Composite Indices of Femoral Neck Strength in Middle-Aged Inactive Subjects Vs Former Football Players. *J Clin Densitom* 2021;24(2):214–224.
3. Kohrt WM, Bloomfield SA, Little KD, Nelson ME, Yingling VR; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(11):1985–1996.
4. Zouhal H, Berro AJ, Kazwini S, et al. Effects of Exercise Training on Bone Health Parameters in Individuals With Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol* 2022;12:807110.
5. Weeks BK, Beck BR. The BPAQ: a bone-specific physical activity assessment instrument. *Osteoporos Int* 2008;19(11):1567–1577.
6. Piasecki J, McPhee JS, Hannam K, et al. Hip and spine bone mineral density are greater in master sprinters, but not endurance runners compared with non-athletic controls. *Arch Osteoporos* 2018;13(1):72.
7. Kamlé P, Pinti A, El Hage Z, Khalil N, Toumi H, El Hage R. A one-year sprint training program improves bone mineral density in a group of young overweight men. *Science & Sports* 2023;38(5-6):640–642.

Discussion générale

Cette thèse de doctorat avait pour objectif principal d'explorer l'influence de la pratique du sprint sur les paramètres osseux chez les hommes. Pour ce faire, deux études préliminaires et deux études principales ont été menées.

La première étude préliminaire est une revue systématique ayant pour objectif d'explorer l'influence du type d'entraînement physique sur les paramètres osseux chez les adolescentes réglées chez qui la réponse ostéogénique à l'entraînement est importante. La revue systématique a comparé les résultats de plusieurs études longitudinales. Il en ressort que l'entraînement pliométrique augmente le CMO du rachis lombaire et semble être le plus pertinent pour l'amélioration de la masse osseuse. Ce résultat a conduit aux études principales qui s'articulent directement sur les effets ostéogéniques du sprint (qui se caractérise surtout par des actions musculaires pliométriques).

La deuxième étude préliminaire est une étude transversale visant à explorer la relation entre la force maximale en soulevé de terre et le CMO CE chez des hommes âgés sains. Dans cette étude, nous avons observé une corrélation positive entre la force maximale en soulevé de terre et le CMO CE. De plus, cette corrélation a persisté après ajustement pour l'âge. La force maximale en soulevé de terre semble être un déterminant indépendant de la masse osseuse chez les hommes âgés sains. Ainsi, les résultats de notre deuxième étude préliminaire confirment les résultats de plusieurs études antérieures et introduisent les deux études principales qui s'articulent directement sur les effets ostéogéniques du sprint ; le soulevé de terre est considéré comme l'un des exercices les plus utilisés par les sprinteurs confirmés.

La première étude principale avait pour objectif de comparer les paramètres de santé osseuse chez des jeunes hommes pratiquant le sprint et des jeunes hommes actifs. La DMO du rachis lombaire et la DMO de la hanche étaient significativement supérieures chez les jeunes sprinteurs par rapport aux hommes actifs. En revanche, la masse maigre, le CMO CE et la DMO de l'avant-bras n'étaient pas significativement différents

entre les deux groupes. En conséquence, l'entraînement de sprint semble avoir un effet spécifique au site osseux sollicité par la pratique physique. L'effet le plus important semble se situer au niveau de la DMO du rachis lombaire. L'activité métabolique est bien connue pour être plus élevée dans l'os trabéculaire que dans l'os cortical (Kohrt et coll. 2004 ; Zouhal et coll. 2022). Globalement, les réponses ostéogéniques à l'entraînement en sprint semblent ainsi être localisées au niveau du rachis lombaire et la hanche.

Sur le plan mécanistique, l'entraînement de sprint augmente les stimuli mécaniques sur la hanche et le rachis lombaire notamment chez les sujets en surpoids ou obèses (Kamlé et coll. 2023 ; Kurgan et coll. 2022 ; Zouhal et coll. 2022). De plus, une étude récente a démontré que l'entraînement de sprint diminue les niveaux de sclérostine au niveau de la masse adipeuse sous-cutanée (Kurgan et coll. 2022). L'inhibition de la sclérostine a été utilisée comme cible thérapeutique pour traiter les individus ayant une faible masse osseuse (Kurgan et coll. 2022). Les activités physiques avec des forces de réaction au sol élevées inhibent la sécrétion de sclérostine et favorisent une augmentation de la DMO des sites osseux sollicités (Kurgan et coll. 2022). Une étude récente a démontré qu'un entraînement de sprint d'un an améliore le CMO du corps entier, la DMO du rachis lombaire et les performances physiques mais ne modifie pas de manière significative la composition corporelle chez les jeunes hommes en surpoids (Kamlé et coll. 2023).

Les performances en détente ainsi qu'en force maximale (squat et soulevé de terre) étaient supérieures chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs soulignant que les sprinteurs ont des plus grandes forces maximales et explosives des membres inférieurs par rapport aux hommes actifs.

Fait intéressant, la force maximale des membres inférieurs et la DMO de la hanche et du rachis lombaire étaient plus élevées chez les sprinteurs que chez les hommes actifs bien que le poids corporel soit plus élevé chez les hommes actifs. Ces résultats confirment que la force relative des membres inférieurs, les rapports DMO hanche/poids corporel et DMO rachis lombaire/poids corporel sont élevés chez les sprinteurs. Ce résultat semble raisonnable dans la mesure où le sprint est fortement corrélé à la puissance maximale relative des membres inférieurs.

Les performances en détente étaient les déterminants les plus forts de la DMO du rachis lombaire et de la DMO de la hanche, tandis que la masse maigre et le poids corporel étaient les déterminants les plus puissants du CMO CE. Le score BPAQ total était positivement corrélé au CMO CE, à la DMO du rachis lombaire et à la DMO de l'avant-bras. Ce résultat souligne l'importance de ce questionnaire et confirme son utilité. A notre connaissance, ceci est la première étude à évaluer les scores BPAQ chez les sprinteurs.

La masse grasse et le pourcentage de masse grasse étaient négativement corrélés à la DMO du rachis lombaire et de la hanche. L'excès de masse semble exercer un effet négatif sur la DMO chez les hommes (Charoenngam et coll. 2023 ; Jain et Vokes, 2022). Ce résultat est rarement retrouvé chez les femmes chez qui c'est même parfois l'inverse. L'excès de masse grasse est associé à une baisse de l'hormone de croissance et de de testostérone libre chez les hommes (Rosen et Bouxsein, 2006). De plus, l'obésité est associée à une inflammation chronique ; les adipocytes sécrètent des cytokines pro-inflammatoires qui peuvent favoriser l'activité des ostéoclastes et la résorption osseuse (Rosen et Bouxsein, 2006). Enfin, il a été démontré que l'obésité et l'ostéoporose peuvent être associées à une production accrue de cytokines pro-inflammatoires et à un stress oxydatif élevé.

En conclusion, la première étude principale suggère que les sprinteurs ont une DMO plus élevée au niveau du rachis lombaire et de la hanche par rapport aux hommes actifs. L'entraînement de sprint à l'adolescence et au début de l'âge adulte pourrait alors avoir un rôle préventif contre l'ostéoporose/l'ostéopénie chez l'homme. De futures études longitudinales seront nécessaires pour confirmer nos résultats.

La deuxième étude principale avait pour objectif de comparer les paramètres de santé osseuse chez des anciens sprinteurs et des hommes actifs âgés entre 40 et 50 ans. Dans cette étude, le poids, la masse grasse et l'IMC étaient supérieurs dans le groupe actif par rapport aux anciens sprinteurs. La masse maigre, les paramètres de force maximale et de santé osseuse n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. D'autre part, les performances en sprint, en détente et la VO₂ max étaient supérieures chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs. Après ajustement pour l'âge, le poids, l'activité physique totale et l'activité physique intense, le CMO CE était supérieur

chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs. Les mécanismes par lesquels l'entraînement en sprint affecte la DMO sont multiples et incluent des composantes mécaniques et hormonales (Dolan et coll. 2006 ; Kohrt et coll. 2004 ; Piasecki et coll. 2018).

Le poids, la masse maigre, l'IMC et les paramètres de force maximale étaient positivement corrélés au CMO CE. La masse maigre était le meilleur déterminant du CMO CE. Nos résultats renforcent ceux de plusieurs études menées chez les hommes adultes (Finianos et coll. 2020 ; Nasr et coll. 2020 ; Sutter et coll. 2019). L'activité physique intense était positivement corrélée à la DMO lombaire mettant en évidence ainsi l'importance de l'activité physique intense dans le cadre ostéogénique. La force maximale en développé-couché était positivement corrélée à la DMO de l'avant-bras soulignant l'importance du principe de spécificité.

En conclusion, la deuxième étude principale montre que le CMO du corps entier est plus élevé chez les anciens sprinteurs que chez les hommes actifs. Ces résultats suggèrent que l'entraînement en sprint à l'adolescence et à l'âge adulte peut conférer des bénéfices résiduels en matière de masse osseuse chez les hommes. Ainsi, l'entraînement en sprint durant l'adolescence peut avoir un effet préventif contre les fractures ostéoporotiques plus tard dans la vie. La désignation des programmes d'entraînement physique à l'adolescence et au début de l'âge adulte devrait être adaptée en conséquence.

Les études principales 1 et 2 présentent plusieurs limites : la nature transversale des études, le nombre limité de sujets, le manque de prélèvements sanguins et de mesures hormonales corrélables à la masse osseuse et le manque de mesures de paramètres micro-architecturaux. Cependant, ces études ont l'avantage de comparer les valeurs de DMO des sprinteurs par rapport aux hommes actifs.

Globalement, cette thèse met en évidence l'importance de l'entraînement pliométrique pour l'acquisition de la masse osseuse chez les adolescentes, renforce le lien étroit entre la force maximale et la masse osseuse chez les hommes âgés et confirme les effets positifs de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez les hommes. L'entraînement en sprint associé à un entraînement de force peut être prescrit comme moyen efficace de prévention contre l'ostéoporose et l'ostéopénie.

Conclusions et perspectives

Cette thèse qui s'est intéressée aux effets du sprint sur les paramètres osseux montre principalement que :

- L'entraînement pliométrique est efficace pour augmenter la masse osseuse du rachis lombaire chez les adolescentes ; ce type d'entraînement semble être le plus efficace au niveau ostéogénique chez les filles réglées.
- La force maximale en soulevé de terre est un déterminant positif de la masse osseuse chez les hommes âgés sains.
- La DMO du rachis lombaire et la DMO de la hanche sont plus élevées chez les sprinteurs par rapport aux jeunes hommes actifs. Ces résultats ont des applications pratiques dans le domaine de la prévention de l'ostéoporose masculine.
- Les valeurs de CMO CE sont supérieures chez les anciens sprinteurs par rapport aux hommes actifs après ajustement pour l'âge, le poids corporel, l'activité physique totale et l'activité physique intense. Ainsi, ces résultats suggèrent qu'un passé de sprinteur est associée à une meilleure masse osseuse.

Ces résultats démontrent des effets positifs de la pratique régulière du sprint sur les paramètres osseux. Certains effets semblent persister même après l'arrêt de la pratique comme démontré dans l'une de nos études menées sur des hommes quinquagénaires. Aux vues des résultats obtenus, il serait cohérent de proposer les perspectives de recherches suivantes :

- Premièrement, il serait intéressant d'explorer les effets d'un an d'entraînement en sprint chez des jeunes hommes et femmes inactifs afin de confirmer un effet de causalité entre l'entraînement de sprint et l'augmentation de la DMO.
- Deuxièmement, il serait cliniquement important d'explorer les effets de l'entraînement en sprint sur des populations particulières ayant des pathologies

et/ou des désordres comme l'ostéoporose, l'ostéopénie, la sarcopénie et le syndrome de fragilité.

- Troisièmement, il serait cohérent de rédiger une méta analyse et une revue systématique ayant pour objectifs d'explorer les effets du sprint sur les paramètres osseux.

Références Bibliographiques

Agostinete, R. R., Fernandes, R. A., Narciso, P. H., Maillane-Vanegas, S., Werneck, A. O., & Vlachopoulos, D. (2020). Categorizing 10 Sports According to Bone and Soft Tissue Profiles in Adolescents. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(12), 2673–2681. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002420>

Akhiiarova, K., Khusainova, R., Minniakhmetov, I., Mokrysheva, N., & Tyurin, A. (2023). Peak Bone Mass Formation: Modern View of the Problem. *Biomedicines*, 11(11), 2982. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11112982>

America's Bone Health: The state of osteoporosis and low bone mass in our nation. 2002 Foundation; 110 p

Ammann, P., & Rizzoli, R. (2003). Bone strength and its determinants. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 14 Suppl 3, S13–S18. <https://doi.org/10.1007/s00198-002-1345-4>

Amorim, T., Wyon, M., Maia, J., Machado, J. C., Marques, F., Metsios, G. S., Flouris, A. D., & Koutedakis, Y. (2015). Prevalence of low bone mineral density in female dancers. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(2), 257–268. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0268-5>

Antoun A, Saddick H, Nasr R, et al. 2021 Relations between maximal strength indices and bone health parameters in a group of elderly subjects. *Science & Sports* 36(1):89–93. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.09.008>

Arabi, A., Nabulsi, M., Maalouf, J., Choucair, M., Khalifé, H., Vieth, R., & El-Hajj Fuleihan, G. (2004). Bone mineral density by age, gender, pubertal stages, and socioeconomic status in healthy Lebanese children and adolescents. *Bone*, 35(5), 1169–1179. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2004.06.015>

Arnett, M. G., & Lutz, B. (2002). Effects of rope-jump training on the os calcis stiffness index of postpubescent girls. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(12), 1913–1919. <https://doi.org/10.1097/00005768-200212000-00009>

Aspray, T. J., & Hill, T. R. (2019). Osteoporosis and the Ageing Skeleton. *Sub-cellular biochemistry*, 91, 453–476. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3681-2_16

Ayoub, M. L., Maalouf, G., Bachour, F., Barakat, A., Cortet, B., Legroux-Gérot, I., Zunquin, G., Theunynck, D., Nehme, A., & El Hage, R. (2014). DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 100(8), 855–858. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.06.023>

Baddoura, R., Hoteit, M., & El-Hajj Fuleihan, G. (2011). Osteoporotic fractures, DXA, and fracture risk assessment: meeting future challenges in the Eastern Mediterranean Region. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 14(4), 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2011.03.009>

Baechle, T. R., & Earle, R. W. (Eds.). (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Human kinetics.

Bailey, C. A., & Brooke-Wavell, K. (2008). Exercise for optimising peak bone mass in women. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 67(1), 9–18. <https://doi.org/10.1017/S0029665108005971>

Bailey, D. A., Martin, A. D., McKay, H. A., Whiting, S., & Mirwald, R. (2000). Calcium accretion in girls and boys during puberty: a longitudinal analysis. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 15(11), 2245–2250. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2000.15.11.2245>

Bandeira, L., Silva, B. C., & Bilezikian, J. P. (2022). Male osteoporosis. *Archives of endocrinology and metabolism*, 66(5), 739–747. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000563>

Barnes, M. J., Miller, A., Reeve, D., & Stewart, R. J. C. (2019). Acute Neuromuscular and Endocrine Responses to Two Different Compound Exercises: Squat vs. Deadlift. *Journal*

of strength and conditioning research, 33(9), 2381–2387.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002140>

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 : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 13(3), 500–507. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.3.500>

Baxter-Jones, A. D., & Maffulli, N. (2002). Intensive training in elite young female athletes. Effects of intensive training on growth and maturation are not established. *British journal of sports medicine*, 36(1), 13–15. <https://doi.org/10.1136/bjbm.36.1.13>

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. *Journal of science and medicine in sport*, 20(5), 438–445. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.10.001>

Belavý, D. L., Armbrecht, G., Blenk, T., Bock, O., Börst, H., Kocakaya, E., Luhn, F., Rantalainen, T., Rawer, R., Tomasius, F., Willnecker, J., & Felsenberg, D. (2016). Greater association of peak neuromuscular performance with cortical bone geometry, bone mass and bone strength than bone density: A study in 417 older women. *Bone*, 83, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2015.10.018>

Berro, A. J., El Hawly, W., El Khoury, G., El Hage, Z., Jayavel, A., Saeidi, A., Laher, I., Pinti, A., Bassim, Y., Hackney, A. C., Granacher, U., Zouhal, H., & El Hage, R. (2024). Effects of the Type of Exercise Training on Bone Health Parameters in Adolescent Girls: A Systematic Review. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 27(1), 101454. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2023.101454>

Berro, A. J., Rassy, N. A., Ahmaid, S., Sabbagh, P., Khawaja, A., Maalouf, G., & El Hage, R. (2019). Physical Performance Variables and Bone Parameters in a Group of Young Overweight and Obese Women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the*

International Society for Clinical Densitometry, 22(2), 293–299.
<https://doi.org/10.1016/j.iocd.2018.09.008>

Binkley, N. C., Schmeer, P., Wasnich, R. D., Lenchik, L., & International Society for Clinical Densitometry Position Development Panel and Scientific Advisory Committee (2002). What are the criteria by which a densitometric diagnosis of osteoporosis can be made in males and non-Caucasians?. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 5 Suppl, S19–S27.
<https://doi.org/10.1385/jcd:5:3s:s19>

Björnsdóttir, S., Clarke, B. L., Mannstadt, M., & Langdahl, B. L. (2022). Male osteoporosis-what are the causes, diagnostic challenges, and management. *Best practice & research. Clinical rheumatology*, 36(3), 101766.
<https://doi.org/10.1016/j.berh.2022.101766>

Black, D. M., & Rosen, C. J. (2016). Clinical Practice. Postmenopausal Osteoporosis. *The New England journal of medicine*, 374(3), 254–262.
<https://doi.org/10.1056/NEJMcp1513724>

Blimkie, C. J., Rice, S., Webber, C. E., Martin, J., Levy, D., & Gordon, C. L. (1996). Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 74(9), 1025–1033.

Bonjour J. P. (2011). Protein intake and bone health. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 81(2-3), 134–142.
<https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000063>

Bonjour J. P. (2016). The dietary protein, IGF-I, skeletal health axis. *Hormone molecular biology and clinical investigation*, 28(1), 39–53. <https://doi.org/10.1515/hmbci-2016-0003>

Bonjour, J. P., Chevalley, T., Ferrari, S., & Rizzoli, R. (2009). The importance and relevance of peak bone mass in the prevalence of osteoporosis. *Salud publica de Mexico*, 51 Suppl 1, S5–S17. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342009000700004>

Bonjour, J. P., Theintz, G., Law, F., Slosman, D., & Rizzoli, R. (1995). Le pic de masse osseuse: réalités et incertitudes [Peak bone mass: facts and uncertainties]. *Archives de pediatrie : organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, 2(5), 460–468. [https://doi.org/10.1016/0929-693x\(96\)81183-3](https://doi.org/10.1016/0929-693x(96)81183-3)

Borer K. T. (2005). Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women : interaction of mechanical, hormonal and dietary factors. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(9), 779–830. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535090-00004>

Bouvard, B., & Cortet, B. (2020). Ostéoporose chez l'homme [Osteoporosis in men]. *La Revue du praticien*, 70(9), 1032–1034.

Burckhardt, P., & Michel, C. (1989). The peak bone mass concept. *Clinical rheumatology*, 8 Suppl 2, 16–21. <https://doi.org/10.1007/BF02207228>

Burr, D. B., Milgrom, C., Fyhrie, D., Forwood, M., Nyska, M., Finestone, A., Hoshaw, S., Saiag, E., & Simkin, A. (1996). In vivo measurement of human tibial strains during vigorous activity. *Bone*, 18(5), 405–410. [https://doi.org/10.1016/8756-3282\(96\)00028-2](https://doi.org/10.1016/8756-3282(96)00028-2)

Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry research*, 28(2), 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)

Cao J. J. (2011). Effects of obesity on bone metabolism. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 6, 30. <https://doi.org/10.1186/1749-799X-6-30>

Castelo-Branco, C., Reina, F., Montivero, A. D., Colodrón, M., & Vanrell, J. A. (2006). Influence of high-intensity training and of dietetic and anthropometric factors on menstrual cycle disorders in ballet dancers. *Gynecological endocrinology : the official journal of the International Society of Gynecological Endocrinology*, 22(1), 31–35. <https://doi.org/10.1080/09513590500453825>

Center, J. R., Nguyen, T. V., Schneider, D., Sambrook, P. N., & Eisman, J. A. (1999). Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: an observational study. *Lancet (London, England)*, 353(9156), 878–882. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(98\)09075-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)09075-8)

Chao, D., Foy, C. G., & Farmer, D. (2000). Exercise adherence among older adults: challenges and strategies. *Controlled clinical trials*, 21(5 Suppl), 212S–7S. [https://doi.org/10.1016/s0197-2456\(00\)00081-7](https://doi.org/10.1016/s0197-2456(00)00081-7)

Chaplais, E., Naughton, G., Greene, D., Dutheil, F., Pereira, B., Thivel, D., & Courteix, D. (2018). Effects of interventions with a physical activity component on bone health in obese children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Journal of bone and mineral metabolism*, 36(1), 12–30. <https://doi.org/10.1007/s00774-017-0858-z>

Chapter 7 Selecting studies and collecting data. 2020

Charoenngam, N., Apovian, C. M., & Pongchaiyakul, C. (2023). Increased fat mass negatively influences femoral neck bone mineral density in men but not women. *Frontiers in endocrinology*, 14, 1035588. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1035588>

Chevalley, T., Bonjour, J. P., Ferrari, S., & Rizzoli, R. (2009). The influence of pubertal timing on bone mass acquisition: a predetermined trajectory detectable five years before menarche. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 94(9), 3424–3431. <https://doi.org/10.1210/jc.2009-0241>

Clemente, F. M., Ramirez-Campillo, R., Sarmiento, H., Castillo, D., Raya-González, J., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). Effects of Recreational Small-Sided Soccer Games on Bone Mineral Density in Untrained Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare* (Basel, Switzerland), 9(4), 457. <https://doi.org/10.3390/healthcare9040457>

Compston J. (2001). Secondary causes of osteoporosis in men. *Calcified tissue international*, 69(4), 193–195. <https://doi.org/10.1007/s00223-001-1048-4>

Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. (1993). *The American journal of medicine*, 94(6), 646–650. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(93\)90218-e](https://doi.org/10.1016/0002-9343(93)90218-e)

Cooley, H., & Jones, G. (2001). A population-based study of fracture incidence in southern Tasmania: lifetime fracture risk and evidence for geographic variations within the same country. *Osteoporosis international : a journal established as result of*

cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 12(2), 124–130. <https://doi.org/10.1007/s001980170144>

Cooper, C., Campion, G., & Melton, L. J., 3rd (1992). Hip fractures in the elderly: a world-wide projection. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 2(6), 285–289. <https://doi.org/10.1007/BF01623184>

Cortet, B., & Bousson, V. (2016). TBS and bone strength. *BoneKEy reports*, 5, 792. <https://doi.org/10.1038/bonekey.2016.19>

Daly R. M. (2007). The effect of exercise on bone mass and structural geometry during growth. *Medicine and sport science*, 51, 33–49. <https://doi.org/10.1159/000103003>

Daly, R. M., Caine, D., Bass, S. L., Pieter, W., & Broekhoff, J. (2005). Growth of highly versus moderately trained competitive female artistic gymnasts. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(6), 1053–1060.

De Laet, C. E., van der Klift, M., Hofman, A., & Pols, H. A. (2002). Osteoporosis in men and women: a story about bone mineral density thresholds and hip fracture risk. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 17(12), 2231–2236. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.12.2231>

De Laet, C. E., Van Hout, B. A., Burger, H., Weel, A. E., Hofman, A., & Pols, H. A. (1998). Hip fracture prediction in elderly men and women: validation in the Rotterdam study. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 13(10), 1587–1593. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.10.1587>

Dolan, S. H., Williams, D. P., Ainsworth, B. E., & Shaw, J. M. (2006). Development and reproducibility of the bone loading history questionnaire. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(6), 1121–1131. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000222841.96885.a8>

Dowthwaite, J. N., Dunsmore, K. A., Gero, N. M., Burzynski, A. O., Sames, C. A., Rosenbaum, P. F., & Scerpella, T. A. (2015). Arm bone loading index predicts DXA

musculoskeletal outcomes in two samples of post-menarcheal girls. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 15(4), 358–371.

Duan, Y., Turner, C. H., Kim, B. T., & Seeman, E. (2001). Sexual dimorphism in vertebral fragility is more the result of gender differences in age-related bone gain than bone loss. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 16(12), 2267–2275.
<https://doi.org/10.1359/jbmr.2001.16.12.2267>

Egan, E., Reilly, T., Giacomoni, M., Redmond, L., & Turner, C. (2006). Bone mineral density among female sports participants. *Bone*, 38(2), 227–233.
<https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.08.024>

El Hage R, Jacob C, Moussa E, Youssef H, Jaffré C. 2009 Effets de 12 semaines d'entraînement en endurance sur le contenu minéral osseux et la densité minérale osseuse chez des adolescentes obèses, en surpoids et normales. *Sci Sports* 24(3-4):210–213

El Hage, R., & Baddoura, R. (2012). Anthropometric predictors of geometric indices of hip bone strength in a group of Lebanese postmenopausal women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 15(2), 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2011.11.003>

El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Groussard, C., Pineau, J. C., Benhamou, C. L., & Jaffré, C. (2009). Influence of the weight status on bone mineral content and bone mineral density in a group of Lebanese adolescent girls. *Joint bone spine*, 76(6), 680–684.
<https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2009.10.004>

El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Jaffré, C., & Baddoura, R. (2011). Bone mass in a group of Lebanese girls from Beirut and French girls from Orleans. *Le Journal medical libanais. The Lebanese medical journal*, 59(3), 131–135.

El Hage, R., Moussa, E., Hammoud, A., Dandachi, G., & Jacob, C. (2010). Birth weight is an independent determinant of whole body bone mineral content and bone mineral density in a group of Lebanese adolescent girls. *Journal of bone and mineral metabolism*, 28(3), 360–363. <https://doi.org/10.1007/s00774-010-0165-4>

El Hage, R., Zakhem, E., Theunynck, D., Zunquin, G., Bedran, F., Sebaaly, A., Bachour, F., & Maalouf, G. (2014). Maximal oxygen consumption and bone mineral density in a group of young Lebanese adults. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 17(2), 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.01.008>

El Hage, Z., Theunynck, D., Jacob, C., Moussa, E., Baddoura, R., Zunquin, G., & El Hage, R. (2013). Bone mineral content and density in obese, overweight and normal weight adolescent boys. *Le Journal medical libanais. The Lebanese medical journal*, 61(3), 148–154. <https://doi.org/10.12816/0001443>

El Hawly W, Zunquin G, Pinti A, El Hage Z, Bassim Y, El Hage R. (2023). Bone mineral density in young sprinters and young active men. *Science & Sports* DOI:[10.1016/j.scispo.2023.11.002](https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.11.002)

El Khoury, C., Pinti, A., Lespessailles, E., Maalouf, G., Watelain, E., El Khoury, G., Berro, A. J., Ayoub, M. L., Toumi, H., & El Hage, R. (2018). Physical Performance Variables and Bone Mineral Density in a Group of Young Overweight and Obese Men. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 21(1), 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.07.004>

El-Hajj Fuleihan, G., Baddoura, R., Awada, H., Salam, N., Salamoun, M., & Rizk, P. (2002). Low peak bone mineral density in healthy Lebanese subjects. *Bone*, 31(4), 520–528. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(02\)00845-1](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(02)00845-1)

Fardellone, P., Sebert, J. L., Bouraya, M., Bonidan, O., Leclercq, G., Doutrelot, C., Bellony, R., & Dubreuil, A. (1991). Evaluation de la teneur en calcium du régime alimentaire par autoquestionnaire fréquentiel [Evaluation of the calcium content of diet by frequent self-questionnaire]. *Revue du rhumatisme et des maladies osteo-articulaires*, 58(2), 99–103.

Faulkner, K. G., Cummings, S. R., Black, D., Palermo, L., Glüer, C. C., & Genant, H. K. (1993). Simple measurement of femoral geometry predicts hip fracture: the study of osteoporotic fractures. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the*

American Society for Bone and Mineral Research, 8(10), 1211–1217.
<https://doi.org/10.1002/jbmr.5650081008>

Faulkner, R. A., & Bailey, D. A. (2007). Osteoporosis: a pediatric concern?. *Medicine and sport science*, 51, 1–12. <https://doi.org/10.1159/000102993>

Fazah, A., Jacob, C., El-Hage, R., Delamarche, P., & Moussa, E. (2010). Body mass index and body fat in Lebanese female adolescents. *Le Journal medical libanais. The Lebanese medical journal*, 58(2), 97–100.

Felsenberg, D., & Boonen, S. (2005). The bone quality framework: determinants of bone strength and their interrelationships, and implications for osteoporosis management. *Clinical therapeutics*, 27(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2004.12.020>

Finianos, B., Sabbagh, P., Zunquin, G., & El Hage, R. (2020). Muscular power and maximum oxygen consumption predict bone density in a group of middle-aged men. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 20(1), 53–61.

Finianos, B., Zunquin, G., & El Hage, R. (2021). Composite Indices of Femoral Neck Strength in Middle-Aged Inactive Subjects Vs Former Football Players. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(2), 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2020.06.002>

Finianos, B., Zunquin, G., & El Hage, R. (2021a). Composite Indices of Femoral Neck Strength in Middle-Aged Inactive Subjects Vs Former Football Players. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(2), 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2020.06.002>

Florschutz, A. V., Langford, J. R., Haidukewych, G. J., & Koval, K. J. (2015). Femoral neck fractures: current management. *Journal of orthopaedic trauma*, 29(3), 121–129.
<https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000291>

Fonseca, H., Moreira-Gonçalves, D., Coriolano, H. J., & Duarte, J. A. (2014). Bone quality: the determinants of bone strength and fragility. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(1), 37–53. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0100-7>

Friedman A. W. (2006). Important determinants of bone strength: beyond bone mineral density. *Journal of clinical rheumatology : practical reports on rheumatic & musculoskeletal diseases*, 12(2), 70–77.

<https://doi.org/10.1097/01.rhu.0000208612.33819.8c>

Fristrup, B., Krstrup, P., Andersen, J. L., Hornstrup, T., Løwenstein, F. T., Larsen, M. A., Helge, J. W., Póvoas, S. C. A., & Aagaard, P. (2020). Effects of small-sided recreational team handball training on mechanical muscle function, body composition and bone mineralization in untrained young adults-A randomized controlled trial. *PloS one*, 15(11), e0241359. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241359>

Frost H. M. (1987). The mechanostat: a proposed pathogenic mechanism of osteoporoses and the bone mass effects of mechanical and nonmechanical agents. *Bone and mineral*, 2(2), 73–85.

Frost, S. A., Nguyen, N. D., Center, J. R., Eisman, J. A., & Nguyen, T. V. (2013). Excess mortality attributable to hip-fracture: a relative survival analysis. *Bone*, 56(1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.05.006>

Gilsanz, V., Boechat, M. I., Gilsanz, R., Loro, M. L., Roe, T. F., & Goodman, W. G. (1994). Gender differences in vertebral sizes in adults: biomechanical implications. *Radiology*, 190(3), 678–682. <https://doi.org/10.1148/radiology.190.3.8115610>

Gobbens, R. J., & Remmen, R. (2019). The effects of sociodemographic factors on quality of life among people aged 50 years or older are not unequivocal: comparing SF-12, WHOQOL-BREF, and WHOQOL-OLD. *Clinical interventions in aging*, 14, 231–239. <https://doi.org/10.2147/CIA.S189560>

Gómez-Bruton, A., Marín-Puyalto, J., Muñoz-Pardos, B., Lozano-Berges, G., Cadenas-Sanchez, C., Matute-Llorente, A., Gómez-Cabello, A., Moreno, L. A., Gonzalez-Agüero, A., Casajus, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2020). Association Between Physical Fitness and Bone Strength and Structure in 3- to 5-Year-Old Children. *Sports health*, 12(5), 431–440. <https://doi.org/10.1177/1941738120913645>

Gómez-Bruton, A., Matute-Llorente, Á., González-Agüero, A., Casajús, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2017). Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review. *World journal of pediatrics* : WJP, 13(2), 112–121. <https://doi.org/10.1007/s12519-016-0076-0>

Gordon, C. M., Zemel, B. S., Wren, T. A., Leonard, M. B., Bachrach, L. K., Rauch, F., Gilsanz, V., Rosen, C. J., & Winer, K. K. (2017). The Determinants of Peak Bone Mass. *The Journal of pediatrics*, 180, 261–269. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.09.056>

Gouveia, É. R., Maia, J. A., Beunen, G. P., Blimkie, C. J., Rodrigues, A. L., & Freitas, D. L. (2012). Functional fitness and bone mineral density in the elderly. *Archives of osteoporosis*, 7, 75–85. <https://doi.org/10.1007/s11657-012-0083-2>

Gracia-Marco, L., Moreno, L. A., Ortega, F. B., León, F., Sioen, I., Kafatos, A., Martinez-Gomez, D., Widhalm, K., Castillo, M. J., Vicente-Rodríguez, G., & HELENA Study Group (2011). Levels of physical activity that predict optimal bone mass in adolescents: the HELENA study. *American journal of preventive medicine*, 40(6), 599–607. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.03.001>

Groothausen J, Siemer H, Kemper HCG, Twisk J, Welten DC. 1997 Influence of peak strain on lumbar bone mineral density: an analysis of 15-year physical activity in young males and females. *Pediatr Exerc Sci* 9(2):159–173

Gruodyté, R., Jürimäe, J., Saar, M., Maasalu, M., & Jürimäe, T. (2009). Relationships between areal bone mineral density and jumping height in pubertal girls with different physical activity patterns. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(4), 474–479.

Gullberg, B., Johnell, O., & Kanis, J. A. (1997). World-wide projections for hip fracture. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 7(5), 407–413. <https://doi.org/10.1007/pl00004148>

Haapasalo, H., Kannus, P., Sievänen, H., Pasanen, M., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., Oja, P., & Vuori, I. (1998). Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of

female junior tennis players. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 13(2), 310–319. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.2.310>

Haentjens, P., Johnell, O., Kanis, J. A., Bouillon, R., Cooper, C., Lamraski, G., Vanderschueren, D., Kaufman, J. M., Boonen, S., & Network on Male Osteoporosis in Europe (NEMO) (2004). Evidence from data searches and life-table analyses for gender-related differences in absolute risk of hip fracture after Colles' or spine fracture: Colles' fracture as an early and sensitive marker of skeletal fragility in white men. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 19(12), 1933–1944. <https://doi.org/10.1359/JBMR.040917>

Hallal, P. C., & Victora, C. G. (2004). Reliability and validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). *Medicine and science in sports and exercise*, 36(3), 556. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000117161.66394.07>

Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M., & Kraemer, W. J. (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 5(3), 116-120.

Hasserius, R., Karlsson, M. K., Nilsson, B. E., Redlund-Johnell, I., Johnell, O., & European Vertebral Osteoporosis Study (2003). Prevalent vertebral deformities predict increased mortality and increased fracture rate in both men and women: a 10-year population-based study of 598 individuals from the Swedish cohort in the European Vertebral Osteoporosis Study. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 14(1), 61–68. <https://doi.org/10.1007/s00198-002-1316-9>

Hayes, K. C., & Kakulas, B. A. (1997). Neuropathology of human spinal cord injury sustained in sports-related activities. *Journal of neurotrauma*, 14(4), 235–248. <https://doi.org/10.1089/neu.1997.14.235>

Heaney, R. P., Abrams, S., Dawson-Hughes, B., Looker, A., Marcus, R., Matkovic, V., & Weaver, C. (2000). Peak bone mass. *Osteoporosis international : a journal established*

as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 11(12), 985–1009. <https://doi.org/10.1007/s001980070020>

Hernandez, C. J., Beaupré, G. S., & Carter, D. R. (2003). A theoretical analysis of the relative influences of peak BMD, age-related bone loss and menopause on the development of osteoporosis. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 14(10), 843–847. <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1454-8>

Hert, J., Lisková, M., & Landa, J. (1971). Reaction of bone to mechanical stimuli. 1. Continuous and intermittent loading of tibia in rabbit. *Folia morphologica*, 19(3), 290–300.

Hind, K., & Burrows, M. (2007). Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: a review of controlled trials. *Bone*, 40(1), 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.07.006>

Hu, K., Cassimatis, M., & Girgis, C. (2023). Exercise and Musculoskeletal Health in Men With Low Bone Mineral Density: A Systematic Review. *Archives of rehabilitation research and clinical translation*, 6(1), 100313. <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2023.100313>

Ikedo, A., Ishibashi, A., Matsumiya, S., Kaizaki, A., Ebi, K., & Fujita, S. (2016). Comparison of Site-Specific Bone Mineral Densities between Endurance Runners and Sprinters in Adolescent Women. *Nutrients*, 8(12), 781. <https://doi.org/10.3390/nu8120781>

Ireland, A., Korhonen, M., Heinonen, A., Suominen, H., Baur, C., Stevens, S., Degens, H., & Rittweger, J. (2011). Side-to-side differences in bone strength in master jumpers and sprinters. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 11(4), 298–305.

Ireland, A., Mittag, U., Degens, H., Felsenberg, D., Ferretti, J. L., Heinonen, A., Koltai, E., Korhonen, M. T., McPhee, J. S., Mekjavic, I., Piasecki, J., Pisot, R., Radak, Z., Simunic, B., Suominen, H., Wilks, D. C., Winwood, K., & Rittweger, J. (2020). Greater maintenance of bone mineral content in male than female athletes and in sprinting and jumping than endurance athletes: a longitudinal study of bone strength in elite masters

athletes. Archives of osteoporosis, 15(1), 87. <https://doi.org/10.1007/s11657-020-00757-w>

Jackson, S. A., Tenenhouse, A., & Robertson, L. (2000). Vertebral fracture definition from population-based data: preliminary results from the Canadian Multicenter Osteoporosis Study (CaMos). Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 11(8), 680–687. <https://doi.org/10.1007/s001980070066>

Jain, R. K., & Vokes, T. (2022). Fat Mass Has Negative Effects on Bone, Especially in Men: A Cross-sectional Analysis of NHANES 2011-2018. The Journal of clinical endocrinology and metabolism, 107(6), e2545–e2552. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgac040>

Janz, K. F., Letuchy, E. M., Eichenberger Gilmore, J. M., Burns, T. L., Torner, J. C., Willing, M. C., & Levy, S. M. (2010). Early physical activity provides sustained bone health benefits later in childhood. Medicine and science in sports and exercise, 42(6), 1072–1078. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c619b2>

Javaid, M. K., & Cooper, C. (2002). Prenatal and childhood influences on osteoporosis. Best practice & research. Clinical endocrinology & metabolism, 16(2), 349–367. <https://doi.org/10.1053/beem.2002.0199>

Jekauc D. 2015 Enjoyment during exercise mediates the effects of an intervention on exercise adherence. Psychology 6(1):48–54. DOI: [10.4236/psych.2015.61005](https://doi.org/10.4236/psych.2015.61005)

Johnell, O., & Kanis, J. A. (2006). An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 17(12), 1726–1733. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0172-4>

Jones, G., White, C., Nguyen, T., Sambrook, P. N., Kelly, P. J., & Eisman, J. A. (1996). Prevalent vertebral deformities: relationship to bone mineral density and spinal osteophytosis in elderly men and women. Osteoporosis international : a journal

established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 6(3), 233–239. <https://doi.org/10.1007/BF01622740>

Kamlé P, Pinti A, El Hage Z, Khalil N, Toumi H, El Hage R. A one-year sprint training program improves bone mineral density in a group of young overweight men. *Science & Sports* 2023;38(5-6):640–642.

Kanis J. A. (1994). Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. WHO Study Group. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 4(6), 368–381. <https://doi.org/10.1007/BF01622200>

Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Oden A, Melton LJ, Khaltsev N. 2008 A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone* 42(3):467–475.

Kanis, J. A., McCloskey, E. V., Johansson, H., Oden, A., Melton, L. J., 3rd, & Khaltsev, N. (2008). A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone*, 42(3), 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.11.001>

Kanis, J. A., Norton, N., Harvey, N. C., Jacobson, T., Johansson, H., Lorentzon, M., McCloskey, E. V., Willers, C., & Borgström, F. (2021). SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Archives of osteoporosis*, 16(1), 82. <https://doi.org/10.1007/s11657-020-00871-9>

Kanis, J. A., Oden, A., Johnell, O., De Laet, C., Jonsson, B., & Oglesby, A. K. (2003). The components of excess mortality after hip fracture. *Bone*, 32(5), 468–473. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(03\)00061-9](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(03)00061-9)

Kannegaard, P. N., van der Mark, S., Eiken, P., & Abrahamsen, B. (2010). Excess mortality in men compared with women following a hip fracture. National analysis of comedication, comorbidity and survival. *Age and ageing*, 39(2), 203–209. <https://doi.org/10.1093/ageing/afp221>

Karlsson, K. M., Karlsson, C., Ahlborg, H. G., Valdimarsson, O., & Ljunghall, S. (2003). The duration of exercise as a regulator of bone turnover. *Calcified tissue international*, 73(4), 350–355. <https://doi.org/10.1007/s00223-002-0003-3>

Karlsson, M. K., & Rosengren, B. E. (2020). Exercise and Peak Bone Mass. *Current osteoporosis reports*, 18(3), 285–290. <https://doi.org/10.1007/s11914-020-00588-1>

Katzman, D. K., Bachrach, L. K., Carter, D. R., & Marcus, R. (1991). Clinical and anthropometric correlates of bone mineral acquisition in healthy adolescent girls. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 73(6), 1332–1339. <https://doi.org/10.1210/jcem-73-6-1332>

Kawai, M., de Paula, F. J., & Rosen, C. J. (2012). New insights into osteoporosis: the bone-fat connection. *Journal of internal medicine*, 272(4), 317–329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2012.02564.x>

Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Tran, Z. V. (2001). Resistance training and bone mineral density in women: a meta-analysis of controlled trials. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 80(1), 65–77. <https://doi.org/10.1097/00002060-200101000-00017>

Kemper, H. C., Bakker, I., Twisk, J. W., & van Mechelen, W. (2002). Validation of a physical activity questionnaire to measure the effect of mechanical strain on bone mass. *Bone*, 30(5), 799–804. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(02\)00709-3](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(02)00709-3)

Kemper, H. C., Twisk, J. W., van Mechelen, W., Post, G. B., Roos, J. C., & Lips, P. (2000). A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: The Amsterdam Growth And Health Longitudinal Study. *Bone*, 27(6), 847–853. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(00\)00397-5](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(00)00397-5)

Khawaja, A., Sabbagh, P., Prioux, J., Zunquin, G., Baquet, G., Maalouf, G., & El Hage, R. (2019). Does Muscular Power Predict Bone Mineral Density in Young Adults?. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 22(3), 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2019.01.005>

Koedijk, J. B., van Rijswijk, J., Oranje, W. A., van den Bergh, J. P., Bours, S. P., Savelberg, H. H., & Schaper, N. C. (2017). Sedentary behaviour and bone health in children, adolescents and young adults: a systematic review. *Osteoporosis international a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 28(9), 2507–2519. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4076-2>

Kohrt, W. M., Bloomfield, S. A., Little, K. D., Nelson, M. E., Yingling, V. R., & American College of Sports Medicine (2004). American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(11), 1985–1996. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000142662.21767.58>

Kontulainen, S. A., Hughes, J. M., Macdonald, H. M., & Johnston, J. D. (2007). The biomechanical basis of bone strength development during growth. *Medicine and sport science*, 51, 13–32. <https://doi.org/10.1159/000103002>

Kontulainen, S. A., Kannus, P. A., Pasanen, M. E., Sievänen, H. T., Heinonen, A. O., Oja, P., & Vuori, I. (2002). Does previous participation in high-impact training result in residual bone gain in growing girls? One year follow-up of a 9-month jumping intervention. *International journal of sports medicine*, 23(8), 575–581. <https://doi.org/10.1055/s-2002-35543>

Korhonen, M. T., Heinonen, A., Siekkinen, J., Isolehto, J., Alén, M., Kiviranta, I., & Suominen, H. (2012). Bone density, structure and strength, and their determinants in aging sprint athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(12), 2340–2349. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318267c954>

Koutedakis, Y., & Jamurtas, A. (2004). The dancer as a performing athlete: physiological considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(10), 651–661. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00003>

Krahenbühl, T., Guimarães, R. F., Barros Filho, A. A., & Gonçalves, E. M. (2018). BONE GEOMETRY AND PHYSICAL ACTIVITY IN CHILDREN AND ADOLESCENTS: SYSTEMATIC REVIEW. GEOMETRIA ÓSSEA E ATIVIDADE FÍSICA EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES: REVISÃO SISTEMÁTICA. *Revista paulista de pediatria : orgao oficial*

da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo, 36(2), 230–237. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2018;36;2:00005>

Krall, E. A., & Dawson-Hughes, B. (1993). Heritable and life-style determinants of bone mineral density. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650080102>

Kriemler, S., Zahner, L., Puder, J. J., Braun-Fahrländer, C., Schindler, C., Farpour-Lambert, N. J., Kränzlin, M., & Rizzoli, R. (2008). Weight-bearing bones are more sensitive to physical exercise in boys than in girls during pre- and early puberty: a cross-sectional study. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 19(12), 1749–1758. <https://doi.org/10.1007/s00198-008-0611-5>

Kröger, H., Lunt, M., Reeve, J., Dequeker, J., Adams, J. E., Birkenhager, J. C., Diaz Curiel, M., Felsenberg, D., Hyldstrup, L., Kotzki, P., Laval-Jeantet, A., Lips, P., Louis, O., Perez Cano, R., Reiners, C., Ribot, C., Ruegsegger, P., Schneider, P., Braillon, P., & Pearson, J. (1999). Bone density reduction in various measurement sites in men and women with osteoporotic fractures of spine and hip: the European quantitation of osteoporosis study. *Calcified tissue international*, 64(3), 191–199. <https://doi.org/10.1007/s002239900601>

Kusy, K., & Zieliński, J. (2015). Sprinters versus long-distance runners: how to grow old healthy. *Exercise and sport sciences reviews*, 43(1), 57–64. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000033>

Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H., & Stewart, S. M. (2011). Validity of the International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF): a systematic review. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 8, 115. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-115>

Legrand, E., Chappard, D., Pascaretti, C., Duquenne, M., Rondeau, C., Simon, Y., Rohmer, V., Basle, M. F., & Audran, M. (1999). Bone mineral density and vertebral fractures in men. *Osteoporosis international : a journal established as result of*

cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 10(4), 265–270. <https://doi.org/10.1007/s001980050225>

Levenstein, S., Prantera, C., Varvo, V., Scribano, M. L., Berto, E., Luzi, C., & Andreoli, A. (1993). Development of the Perceived Stress Questionnaire: a new tool for psychosomatic research. *Journal of psychosomatic research*, 37(1), 19–32. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(93\)90120-5](https://doi.org/10.1016/0022-3999(93)90120-5)

Li, G. W., Chang, S. X., Xu, Z., Chen, Y., Bao, H., & Shi, X. (2013). Prediction of hip osteoporotic fractures from composite indices of femoral neck strength. *Skeletal radiology*, 42(2), 195–201. <https://doi.org/10.1007/s00256-012-1473-7>

Lloyd, T., Hounsome, L., Mehay, A., Mee, S., Verne, J., & Cooper, A. (2015). Lifetime risk of being diagnosed with, or dying from, prostate cancer by major ethnic group in England 2008-2010. *BMC medicine*, 13, 171. <https://doi.org/10.1186/s12916-015-0405-5>

Looker, A. C., Orwoll, E. S., Johnston, C. C., Jr, Lindsay, R. L., Wahner, H. W., Dunn, W. L., Calvo, M. S., Harris, T. B., & Heyse, S. P. (1997). Prevalence of low femoral bone density in older U.S. adults from NHANES III. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 12(11), 1761–1768. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.11.1761>

Lu, J., Shin, Y., Yen, M. S., & Sun, S. S. (2016). Peak Bone Mass and Patterns of Change in Total Bone Mineral Density and Bone Mineral Contents From Childhood Into Young Adulthood. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 19(2), 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.08.001>

Lynch, N. A., Ryan, A. S., Evans, J., Katzel, L. I., & Goldberg, A. P. (2007). Older elite football players have reduced cardiac and osteoporosis risk factors. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(7), 1124–1130. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0b013e3180557466>

Maalouf, G., Bachour, F., Hlais, S., Maalouf, N. M., Yazbeck, P., Yaghi, Y., Yaghi, K., El Hage, R., & Issa, M. (2013). Epidemiology of hip fractures in Lebanon: a nationwide

survey. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 99(6), 675–680.
<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.04.009>

Maalouf, G., Gannagé-Yared, M. H., Ezzedine, J., Larijani, B., Badawi, S., Rached, A., Zakroui, L., Masri, B., Azar, E., Saba, E., Nammari, R., Adib, G., Abou Samra, H., Alrawi, Z., Salman, S., El Muntasser, K., Tarseen, R., El Kharousi, W., Al-Lamki, M., Alothman, A. N., ... Seeman, E. (2007). Middle East and North Africa consensus on osteoporosis. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 7(2), 131–143

MacKelvie, K. J., Khan, K. M., & McKay, H. A. (2002). Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *British journal of sports medicine*, 36(4), 250–257.
<https://doi.org/10.1136/bjism.36.4.250>

Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical therapy*, 83(8), 713–721

Marshall, D., Johnell, O., & Wedel, H. (1996). Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ (Clinical research ed.)*, 312(7041), 1254–1259. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7041.1254>

Martín-Fuentes, I., Oliva-Lozano, J. M., & Muyor, J. M. (2020). Electromyographic activity in deadlift exercise and its variants. A systematic review. *PloS one*, 15(2), e0229507.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229507>

Mello, J. B., Rodríguez-Rodríguez, F., Gracia-Marco, L., Teodoro, J. L., Gaya, A. R., & Gaya, A. C. A. (2023). Speed, agility, and musculoskeletal fitness are independently associated with areal bone mineral density in children. *Frontiers in physiology*, 14, 1080091. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1080091>

Meyer, U., Ernst, D., Zahner, L., Schindler, C., Puder, J. J., Kraenzlin, M., Rizzoli, R., & Kriemler, S. (2013). 3-Year follow-up results of bone mineral content and density after a school-based physical activity randomized intervention trial. *Bone*, 55(1), 16–22.
<https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.03.005>

Milgrom, C., Finestone, A., Levi, Y., Simkin, A., Ekenman, I., Mendelson, S., Millgram, M., Nyska, M., Benjuya, N., & Burr, D. (2000). Do high impact exercises produce higher tibial strains than running?. *British journal of sports medicine*, 34(3), 195–199. <https://doi.org/10.1136/bjism.34.3.195>

Milgrom, C., Finestone, A., Simkin, A., Ekenman, I., Mendelson, S., Millgram, M., Nyska, M., Larsson, E., & Burr, D. (2000). In-vivo strain measurements to evaluate the strengthening potential of exercises on the tibial bone. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 82(4), 591–594. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.82b4.9677>

Miller P. D. (2016). Management of severe osteoporosis. *Expert opinion on pharmacotherapy*, 17(4), 473–488. <https://doi.org/10.1517/14656566.2016.1124856>

Minett, M. M., Weidauer, L., Wey, H. E., Binkley, T. L., Beare, T. M., & Specker, B. L. (2018). Sports Participation in High School and College Leads to High Bone Density and Greater Rates of Bone Loss in Young Men: Results from a Population-Based Study. *Calcified tissue international*, 103(1), 5–15. <https://doi.org/10.1007/s00223-017-0383-z>

Mithal, A., Bansal, B., Kyer, C. S., & Ebeling, P. (2014). The Asia-Pacific Regional Audit-Epidemiology, Costs, and Burden of Osteoporosis in India 2013: A report of International Osteoporosis Foundation. *Indian journal of endocrinology and metabolism*, 18(4), 449–454. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.137485>

Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & PRISMA-P Group (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic reviews*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>

Moradell, A., Gómez-Cabello, A., Gómez-Bruton, A., Muniz-Pardos, B., Puyalto, J. M., Matute-Llorente, A., González-Agüero, A., Ara, I., Casajús, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2020). Associations between Physical Fitness, Bone Mass, and Structure in Older People. *BioMed research international*, 2020, 6930682. <https://doi.org/10.1155/2020/6930682>

Morin, P., Herrmann, F., Ammann, P., Uebelhart, B., & Rizzoli, R. (2005). A rapid self-administered food frequency questionnaire for the evaluation of dietary protein

intake. *Clinical nutrition* (Edinburgh, Scotland), 24(5), 768–774.
<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2005.03.002>

Morris SB. 2008 Estimating effect sizes from pretest-posttest-control group designs. *Organ Res Methods* 11(2):364– 386. <https://doi.org/10.1177/109442810629105>

Nara-Ashizawa, N., Liu, L. J., Higuchi, T., Tokuyama, K., Hayashi, K., Shirasaki, Y., Amagai, H., & Saitoh, S. (2002). Paradoxical adaptation of mature radius to unilateral use in tennis playing. *Bone*, 30(4), 619–623. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(01\)00707-4](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(01)00707-4)

Nasr, R., Al Rassy, N., Watelain, E., Matta, J., Frenn, F., Rizkallah, M., Maalouf, G., El Khoury, C., Berro, A. J., & El Hage, R. (2020). Muscular Maximal Strength Indices and Bone Variables in a Group of Elderly Women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 23(3), 465–471.
<https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.03.003>

National Osteoporosis Foundation. America's bone health: the state of osteoporosis and low bone mass. National Osteoporosis Foundation, Washington, DC

Nichols, D. L., Sanborn, C. F., & Essery, E. V. (2007). Bone density and young athletic women. An update. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.), 37(11), 1001–1014.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200737110-00006>

Nichols, D. L., Sanborn, C. F., & Love, A. M. (2001). Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *The Journal of pediatrics*, 139(4), 494–500.
<https://doi.org/10.1067/mpd.2001.116698>

Nichols, J. F., Rauh, M. J., Barrack, M. T., & Barkai, H. S. (2007). Bone mineral density in female high school athletes: interactions of menstrual function and type of mechanical loading. *Bone*, 41(3), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.05.003>

Nikander, R., Sievänen, H., Heinonen, A., Daly, R. M., Uusi-Rasi, K., & Kannus, P. (2010). Targeted exercise against osteoporosis: A systematic review and meta-analysis for optimising bone strength throughout life. *BMC medicine*, 8, 47.
<https://doi.org/10.1186/1741-7015-8-47>

Nordström, A., Karlsson, C., Nyquist, F., Olsson, T., Nordström, P., & Karlsson, M. (2005). Bone loss and fracture risk after reduced physical activity. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 20(2), 202–207. <https://doi.org/10.1359/JBMR.041012>

Nordström, A., Olsson, T., & Nordström, P. (2006). Sustained benefits from previous physical activity on bone mineral density in males. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 91(7), 2600–2604. <https://doi.org/10.1210/jc.2006-0151>

Okike, K., Chan, P. H., & Paxton, E. W. (2017). Effect of Surgeon and Hospital Volume on Morbidity and Mortality After Hip Fracture. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 99(18), 1547–1553. <https://doi.org/10.2106/JBJS.16.01133>

Owen, N., Sugiyama, T., Eakin, E. E., Gardiner, P. A., Tremblay, M. S., & Sallis, J. F. (2011). Adults' sedentary behavior determinants and interventions. *American journal of preventive medicine*, 41(2), 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.05.013>

Pate, R. R., Hillman, C. H., Janz, K. F., Katzmarzyk, P. T., Powell, K. E., Torres, A., Whitt-Glover, M. C., & 2018 PHYSICAL ACTIVITY GUIDELINES ADVISORY COMMITTEE* (2019). Physical Activity and Health in Children Younger than 6 Years: A Systematic Review. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(6), 1282–1291. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001940>

Piasecki, J., McPhee, J. S., Hannam, K., Deere, K. C., Elhakeem, A., Piasecki, M., Degens, H., Tobias, J. H., & Ireland, A. (2018). Hip and spine bone mineral density are greater in master sprinters, but not endurance runners compared with non-athletic controls. *Archives of osteoporosis*, 13(1), 72. <https://doi.org/10.1007/s11657-018-0486-9>

Popp, K. L., Turkington, V., Hughes, J. M., Xu, C., Unnikrishnan, G., Reifman, J., & Bouxsein, M. L. (2019). Skeletal loading score is associated with bone microarchitecture in young adults. *Bone*, 127, 360–366. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2019.06.001>

Porter, J. L., Varacallo, M., & Castano, M. (2023). Osteoporosis (Nursing). In StatPearls. StatPearls Publishing.

Ramponi, D. R., Kaufmann, J., & Drahnak, G. (2018). Hip Fractures. *Advanced emergency nursing journal*, 40(1), 8–15.

<https://doi.org/10.1097/TME.000000000000180>

Rharass, T., & Lucas, S. (2018). MECHANISMS IN ENDOCRINOLOGY: Bone marrow adiposity and bone, a bad romance?. *European journal of endocrinology*, 179(4), R165–R182. <https://doi.org/10.1530/EJE-18-0182>

Rinonapoli, G., Ruggiero, C., Meccariello, L., Bisaccia, M., Ceccarini, P., & Caraffa, A. (2021). Osteoporosis in Men: A Review of an Underestimated Bone Condition. *International journal of molecular sciences*, 22(4), 2105. <https://doi.org/10.3390/ijms22042105>

Rizzoli, R., & Bonjour, J. P. (1999). Determinants of peak bone mass and mechanisms of bone loss. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 9 Suppl 2, S17–S23. <https://doi.org/10.1007/pl00004155>

Rizzoli, R., Bianchi, M. L., Garabédian, M., McKay, H. A., & Moreno, L. A. (2010). Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone*, 46(2), 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2009.10.005>

Rosen, C. J., & Bouxsein, M. L. (2006). Mechanisms of disease: is osteoporosis the obesity of bone?. *Nature clinical practice. Rheumatology*, 2(1), 35–43. <https://doi.org/10.1038/ncprheum0070>

Sadat-Ali, M., Alfaraidy, M., AlHawas, A., Al-Othman, A. A., Al-Dakheel, D. A., & Tayara, B. K. (2017). Morbidity and mortality after fragility hip fracture in a Saudi Arabian population: Report from a single center. *The Journal of international medical research*, 45(3), 1175–1180. <https://doi.org/10.1177/0300060517706283>

Saddik, H., Nasr, R., Pinti, A., Watelain, E., Fayad, I., Baddoura, R., Berro, A. J., Al Rassy, N., Lespessailles, E., Toumi, H., & El Hage, R. (2020). Sarcopenia negatively affects hip structure analysis variables in a group of Lebanese postmenopausal women. *BMC bioinformatics*, 21(Suppl 2), 86. <https://doi.org/10.1186/s12859-020-3353-9>

- Saddik, H., Pinti, A., Antoun, A., Al Rassy, N., El Hage, Z., Berro, A. J., Lespessailles, E., Toumi, H., & El Hage, R. (2021). Limb Muscular Strength and Bone Mineral Density in Elderly Subjects with Low Skeletal Muscle Mass Index. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(4), 538–547. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2021.03.011>
- Sale, C., & Elliott-Sale, K. J. (2019). Nutrition and Athlete Bone Health. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(Suppl 2), 139–151. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01161-2>
- Schönau E. (2004). The peak bone mass concept: is it still relevant?. *Pediatric nephrology (Berlin, Germany)*, 19(8), 825–831. <https://doi.org/10.1007/s00467-004-1465-5>
- Schulman, R. C., Weiss, A. J., & Mechanick, J. I. (2011). Nutrition, bone, and aging: an integrative physiology approach. *Current osteoporosis reports*, 9(4), 184–195. <https://doi.org/10.1007/s11914-011-0079-7>
- Seeman E. (1995). The dilemma of osteoporosis in men. *The American journal of medicine*, 98(2A), 76S–88S. [https://doi.org/10.1016/s0002-9343\(05\)80082-8](https://doi.org/10.1016/s0002-9343(05)80082-8)
- Seeman E. (2001). Unresolved issues in osteoporosis in men. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*, 2(1), 45–64. <https://doi.org/10.1023/a:1010054924085>
- Seeman E. (2002). Pathogenesis of bone fragility in women and men. *Lancet (London, England)*, 359(9320), 1841–1850. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)08706-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)08706-8)
- Seeman, E., & Delmas, P. D. (2006). Bone quality--the material and structural basis of bone strength and fragility. *The New England journal of medicine*, 354(21), 2250–2261. <https://doi.org/10.1056/NEJMra053077> 8
- Shojaa, M., von Stengel, S., Kohl, M., Schoene, D., & Kemmler, W. (2020). Effects of dynamic resistance exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis with special emphasis on exercise parameters. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 31(8), 1427–1444. <https://doi.org/10.1007/s00198-020-05441-w>

Specker, B., & Minett, M. (2013). Can physical activity improve peak bone mass?. *Current osteoporosis reports*, 11(3), 229–236. <https://doi.org/10.1007/s11914-013-0152-5>

Staiano, A. E., Marker, A. M., Beyl, R. A., Hsia, D. S., Katzmarzyk, P. T., & Newton, R. L. (2017). A randomized controlled trial of dance exergaming for exercise training in overweight and obese adolescent girls. *Pediatric obesity*, 12(2), 120–128. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12117>

Stanforth, D., Lu, T., Stults-Kolehmainen, M. A., Crim, B. N., & Stanforth, P. R. (2016). Bone Mineral Content and Density Among Female NCAA Division I Athletes Across the Competitive Season and Over a Multi-Year Time Frame. *Journal of strength and conditioning research*, 30(10), 2828–2838. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000785>

Stear, S. J., Prentice, A., Jones, S. C., & Cole, T. J. (2003). Effect of a calcium and exercise intervention on the bone mineral status of 16-18-y-old adolescent girls. *The American journal of clinical nutrition*, 77(4), 985–992. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.4.985>

Stewart, A., Felsenberg, D., Kalidis, L., & Reid, D. M. (1995). Vertebral fractures in men and women: how discriminative are bone mass measurements?. *The British journal of radiology*, 68(810), 614–620. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-68-810-614>

Sutter, T., Toumi, H., Valery, A., El Hage, R., Pinti, A., & Lespessailles, E. (2019). Relationships between muscle mass, strength and regional bone mineral density in young men. *PloS one*, 14(3), e0213681. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213681>

Tan, V. P., Macdonald, H. M., Kim, S., Nettlefold, L., Gabel, L., Ashe, M. C., & McKay, H. A. (2014). Influence of physical activity on bone strength in children and adolescents: a systematic review and narrative synthesis. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 29(10), 2161–2181. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2254>

Tian, L., & Yu, X. (2017). Fat, Sugar, and Bone Health: A Complex Relationship. *Nutrients*, 9(5), 506. <https://doi.org/10.3390/nu9050506>

Morgan S. L. (2009). Nutrition and bone: it is more than calcium and vitamin D. *Women's health* (London, England), 5(6), 727–737. <https://doi.org/10.2217/whe.09.64>

To W, Wong M. 2011 Does oligomenorrhoea/amenorrhoea and underweight imply athlete triad syndrome in young female dancers? *Eur J Sport Sci* 11(5):335–340 DOI:[10.1080/17461391.2010.521583](https://doi.org/10.1080/17461391.2010.521583)

Trombetti, A., Herrmann, F., Hoffmeyer, P., Schurch, M. A., Bonjour, J. P., & Rizzoli, R. (2002). Survival and potential years of life lost after hip fracture in men and age-matched women. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 13(9), 731–737. <https://doi.org/10.1007/s001980200100>

Troy, K. L., Mancuso, M. E., Butler, T. A., & Johnson, J. E. (2018). Exercise Early and Often: Effects of Physical Activity and Exercise on Women's Bone Health. *International journal of environmental research and public health*, 15(5), 878. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050878>

Tudor-Locke, C., & McColl, R. S. (2000). Factors related to variation in premenopausal bone mineral status: a health promotion approach. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 11(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s001980050001>

Umemura, Y., Ishiko, T., Yamauchi, T., Kurono, M., & Mashiko, S. (1997). Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 12(9), 1480–1485. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.9.1480>

Uzunca, K., Birtane, M., Durmus-Altun, G., & Ustun, F. (2005). High bone mineral density in loaded skeletal regions of former professional football (soccer) players: what is the effect of time after active career?. *British journal of sports medicine*, 39(3), 154–157. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.011494>

Valdimarsson, O., Alborg, H. G., D ppe, H., Nyquist, F., & Karlsson, M. (2005). Reduced training is associated with increased loss of BMD. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 20(6), 906–912. <https://doi.org/10.1359/JBMR.050107>

Valentino, R., Savastano, S., Tommaselli, A. P., D'Amore, G., Dorato, M., & Lombardi, G. (2001). The influence of intense ballet training on trabecular bone mass, hormone status, and gonadotropin structure in young women. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 86(10), 4674–4678. <https://doi.org/10.1210/jcem.86.10.7908>

Van Langendonck, L., Lefevre, J., Claessens, A. L., Thomis, M., Philippaerts, R., Delvaux, K., Lysens, R., Renson, R., Vanreusel, B., Vanden Eynde, B., Dequeker, J., & Beunen, G. (2003). Influence of participation in high-impact sports during adolescence and adulthood on bone mineral density in middle-aged men: a 27-year follow-up study. *American journal of epidemiology*, 158(6), 525–533. <https://doi.org/10.1093/aje/kwg170>

Van Mechelen W. (1995). Can running injuries be effectively prevented?. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 19(3), 161–165. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519030-00001>

Veldhuis-Vlug, A. G., & Rosen, C. J. (2018). Clinical implications of bone marrow adiposity. *Journal of internal medicine*, 283(2), 121–139. <https://doi.org/10.1111/joim.12718>

Wang, Q. J., Suominen, H., Nicholson, P. H., Zou, L. C., Alen, M., Koistinen, A., & Cheng, S. (2005). Influence of physical activity and maturation status on bone mass and geometry in early pubertal girls. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15(2), 100–106. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00402.x>

Ware, J., Jr, Kosinski, M., & Keller, S. D. (1996). A 12-Item Short-Form Health Survey: construction of scales and preliminary tests of reliability and validity. *Medical care*, 34(3), 220–233. <https://doi.org/10.1097/00005650-199603000-00003>

Weaver, C. M., Gordon, C. M., Janz, K. F., Kalkwarf, H. J., Lappe, J. M., Lewis, R., O'Karma, M., Wallace, T. C., & Zemel, B. S. (2016). The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a

systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 27(4), 1281–1386. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3440-3>

Weeks, B. K., & Beck, B. R. (2008). The BPAQ: a bone-specific physical activity assessment instrument. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 19(11), 1567–1577. <https://doi.org/10.1007/s00198-008-0606-2>

Winter, D. A., & Bishop, P. J. (1992). Lower extremity injury. Biomechanical factors associated with chronic injury to the lower extremity. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(3), 149–156. <https://doi.org/10.2165/00007256-199214030-00001>

Winters, K. M., & Snow, C. M. (2000). Detraining reverses positive effects of exercise on the musculoskeletal system in premenopausal women. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 15(12), 2495–2503. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2000.15.12.2495>

Witzke, K. A., & Snow, C. M. (2000). Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(6), 1051–1057. <https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00003>

Yakabe, M., Hosoi, T., Akishita, M., & Ogawa, S. (2020). Updated concept of sarcopenia based on muscle-bone relationship. *Journal of bone and mineral metabolism*, 38(1), 7–13. <https://doi.org/10.1007/s00774-019-01048-2>

Zakhem, E., Ayoub, M. L., Zunquin, G., Theunynck, D., Bedran, F., Sebaaly, A., Bachour, F., Maalouf, G., & El Hage, R. (2015). Physical performance and trabecular bone score in a group of young Lebanese women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 18(2), 271–272. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.12.002>

Zakhem, E., El Khoury, G., Feghaly, L., Zunquin, G., El Khoury, C., Peze, T., Ayoub, M. L., Theunynck, D., & El Hage, R. (2016). Performance physique et densité minérale

osseuse chez de jeunes adultes libanais. *Le Journal medical libanais. The Lebanese medical journal*, 64(4), 193–199. <https://doi.org/10.12816/0033789>

Zengin, A., Pye, S. R., Cook, M. J., Adams, J. E., Rawer, R., Wu, F. C. W., O'Neill, T. W., & Ward, K. A. (2017). Associations of muscle force, power, cross-sectional muscle area and bone geometry in older UK men. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 8(4), 598–606. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12198>

Zhao, L. J., Jiang, H., Papasian, C. J., Maulik, D., Drees, B., Hamilton, J., & Deng, H. W. (2008). Correlation of obesity and osteoporosis: effect of fat mass on the determination of osteoporosis. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 23(1), 17–29. <https://doi.org/10.1359/jbmr.070813>

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. *Frontiers in physiology*, 12, 807110. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.807110>

Annexes

Articles de revue publiés :

- Abdel Jalil Berro, **Wassim El Hawly**, Gisèle El Khoury, Zaher El Hage, Ayyappan Jayavel, Ayoub Saeidi, Ismail Laher, Antonio Pinti, Youssef Bassim, Anthony C. Hackney, Urs Granacher, Hassane Zouhal, Rawad El Hage. EFFECTS OF THE TYPE OF EXERCISE TRAINING ON BONE HEALTH PARAMETERS IN ADOLESCENT GIRLS: A SYSTEMATIC REVIEW. Journal of Clinical Densitometry, 2023, 101454, ISSN 1094-6950, <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2023.101454>.
- **Wassim El Hawly**, Gautier Zunquin, Antonio Pinti, Zaher El Hage, Youssef Bassim, Rawad El Hage. Bone mineral density in young sprinters and young active men. Science et Sports, 2024. In press.

Articles acceptés :

- Elie Maliha, **Wassim El Hawly**, Antonio Pinti and Rawad El Hage. Maximal deadlift strength and bone mass in a group of healthy elderly men. Submitted to Lecture Note in Bioinformatics.
- **Wassim El Hawly**, Gautier Zunquin, Antonio Pinti, Zaher El Hage, Youssef Bassim and Rawad El Hage. Bone mineral density in middle-aged former sprinters and middle-aged active men. Submitted to Lecture Note in Bioinformatics.

Présentations orales :

- **Wassim EL HAWLY**, Abdel-Jalil Berro, Zaher El Hage, Ayyappan Jayavel, Ayoub Saeidi, Gisèle El Khoury, Ismail Laher, Antonio Pinti, Anthony C. Hackney, Urs Granacher, Youssef Bassim, Hassane Zouhal, Rawad El Hage. EFFECTS OF THE TYPE OF EXERCISE TRAINING ON BONE HEALTH PARAMETERS IN

ADOLESCENT GIRLS: A SYSTEMATIC REVIEW.
sciencesconf.org:acaps2023:491868

- Obaida Abdul Al, Gautier Zunquin, **Wassim EL HAWLY**, Youssef Bassim, Rawad El Hage. Effets de deux types d'entraînement de force (hypertrophie vs. lourd-léger) sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des femmes âgées saines. sciencesconf.org:acaps2023:491906
- Amal Antoun, Eric Watelain, **Wassim EL HAWLY**, Youssef Bassim, Rawad El Hage. Exploration et influences de 2 modalités d'entraînement hypertrophie vs lourd – léger dans la prévention de l'ostéo-sarcopénie chez les personnes âgées ayant un faible indice de masse musculaire squelettique. sciencesconf.org:acaps2023:491917
- Eddy Zakhem, **Wassim EL HAWLY**, Linda Moussi, Rawad El Hage. Bone health parameters in a group of young men smoking hookah. sciencesconf.org:acaps2023:492032

Posters :

- **Wassim EL HAWLY**, Gautier Zunquin, Youssef Bassim, Rawad El Hage. Bone mineral density in middle-aged active men vs. former sprinters. sciencesconf.org:acaps2023:492004
- Ibrahim Fayad, Antonio Pinti, **Wassim EL HAWLY**, Marie-Louise Ayoub, Youssef Bassim, Rawad El Hage. Bone health parameters in middle-aged active men vs. former volleyball players. sciencesconf.org:acaps2023:492240
- Elie El Hayek, **Wassim EL HAWLY**, Rawad El Hage. THE RELATIONSHIP BETWEEN THE VALUES OF SPORT SCHOLARSHIPS GIVEN BY PRIVATE LEBANESE UNIVERSITIES TO STUDENT-ATHLETES AND THEIR RANKINGS IN THE LEAGUES. sciencesconf.org:acaps2023:492236
- Nour Khalil, **Wassim EL HAWLY**, Rawad El Hage. EFFECTS OF TWO STRENGTH TRAINING PROGRAMS (MAXIMUM STRENGTH VS POWER) ON EXPLOSIVE STRENGTH, SPRINT PERFORMANCE AND SHOOT VELOCITY IN A GROUP OF YOUNG ADULT FOOTBALL PLAYERS. sciencesconf.org:acaps2023:492326

Influence de la pratique du sprint sur la densité minérale osseuse chez les hommes

Résumé

L'objectif de cette thèse de doctorat était d'étudier l'influence de la pratique du sprint sur la densité minérale osseuse chez les hommes. Pour ce faire, deux études préliminaires et deux études principales ont été menées. Le but de la première étude préliminaire était d'évaluer l'impact du type d'entraînement physique sur les paramètres osseux chez des filles adolescentes, et a conclu que l'entraînement pliométrique augmente la masse osseuse du rachis lombaire chez les filles adolescentes. Le but de la deuxième étude préliminaire était d'explorer la relation entre la force maximale en soulevé de terre et le CMO du corps entier chez un groupe d'hommes âgés sains, et a conclu que la force maximale en soulevé de terre est un déterminant indépendant du CMO du corps entier chez les hommes âgés. Le but de la première étude principale était de comparer les paramètres de santé osseuse chez des jeunes sprinteurs et des jeunes hommes actifs, et a conclu que la DMO du rachis lombaire et la DMO de la hanche sont plus élevées chez les sprinteurs par rapport aux hommes actifs. Le but de la deuxième étude principale était de comparer les paramètres de santé osseuse chez des anciens sprinteurs et des hommes actifs, et a conclu que la pratique précédente de sprint est associée à une masse osseuse plus élevée chez les hommes quadragénaires.

Mots clés : Forces de réaction au sol ; Puissance musculaire ; Ostéoporose ; Entraînement pliométrique.

Influence of sprint practice on bone mineral density in men

Abstract

The aim of the current PhD thesis was to investigate the influence of sprint practice on bone mineral density in men. To do so, two preliminary studies and two main studies were conducted. The aim of the first preliminary study was to assess the impact of exercise training on bone health parameters in adolescent girls, and concluded that plyometric training increases lumbar spine bone mass in adolescent girls. The aim of the second preliminary study was to explore the relationship between whole body bone mineral content and maximal deadlift strength in a group of elderly men, and concluded that maximal deadlift strength is an independent determinant of bone mass in elderly men. The aim of the first main study was to compare bone health parameters in young active sprinters and young active men, and concluded that sprinters have higher lumbar spine and hip BMD values compared to active men. The aim of the second main study was to compare bone health parameters in middle-aged active men and middle-aged former sprinters, and concluded that former sprinting practice is associated with greater bone mass in middle-aged men.

Keywords: Ground reaction forces; Muscular power; Osteoporosis; Plyometric training.