



**HAL**  
open science

# Effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids

Pierre Kamlé

► **To cite this version:**

Pierre Kamlé. Effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids. Médecine humaine et pathologie. Université d'Orléans; Université de Balamand (Tripoli, Liban), 2022. Français. NNT : 2022ORLE1059 . tel-04308334

**HAL Id: tel-04308334**

**<https://theses.hal.science/tel-04308334>**

Submitted on 27 Nov 2023

**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.



**UNIVERSITÉ D'ORLÉANS**  
**ÉCOLE DOCTORALE MATHÉMATIQUES, INFORMATIQUE, PHYSIQUE THÉORIQUE ET**  
**INGÉNIERIE DES SYSTÈMES (MIPTIS)**

LABORATOIRE IDP - UMR CNRS 7013, UNIVERSITÉ D'ORLÉANS

DÉPARTEMENT D'ÉDUCATION PHYSIQUE, UNIVERSITÉ DE BALAMAND

**THÈSE EN COTUTELLE INTERNATIONALE** présentée par :

**Pierre KAMLÉ**

soutenue le : 12 décembre 2022

pour obtenir le grade de :  
**Docteur de l'Université d'Orléans**

Discipline/ Spécialité : Sciences et techniques des activités physiques et sportives

**EFFETS D'UN AN D'ENTRAÎNEMENT EN**  
**SPRINT SUR LES PARAMÈTRES OSSEUX ET LES**  
**PARAMÈTRES DE PERFORMANCE PHYSIQUE**  
**CHEZ DES JEUNES HOMMES EN SURPOIDS**

**THÈSE dirigée par :**

Mr. Rawad EL HAGE  
Mr. Hechmi TOUMI

Professeur d'Université, Université de Balamand  
Professeur d'Université, Université d'Orléans

**RAPPORTEURS :**

Mr. Hassane ZOUHAL  
Mr. Cyril GARNIER

Professeur d'Université, Université de Rennes 2  
Professeur d'Université, Université Polytechnique Hauts-de-France

---

**JURY**

Mr. Rachid JENNANE  
Mr. Rawad EL HAGE  
Mr. Hassane ZOUHAL  
Mr. Cyril GARNIER  
Mr. Zaher EL HAGE  
Mr. Antonio PINTI

Professeur d'Université, Université d'Orléans - **Président** -  
Professeur d'Université, Université de Balamand  
Professeur d'Université, Université de Rennes 2  
Professeur d'Université, Université Polytechnique Hauts-de-France  
MCU, Notre-Dame University-Louaize  
MCU-HDR, Université Polytechnique Hauts-de-France

## Remerciements

Au terme de mon travail de thèse en cotutelle entre l'Université de Balamand et l'Université d'Orléans, je tiens à remercier très sincèrement les directeurs des deux départements d'éducation physique ainsi que les deux recteurs des deux Universités.

A tous ceux qui, au cours de la réflexion et de la préparation dont cette thèse est le fruit, m'ont aidé de leurs connaissances, de leurs encouragements et de leurs critiques bienveillantes, je tiens à exprimer ici ma très vive et très cordiale gratitude.

Cette thèse de doctorat n'aurait pas pu voir le jour sans la précieuse assistance et l'appui de mon directeur de recherche, docteur Rawad EL HAGE pour le suivi permanent de mon travail, ses remarques et suggestions sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas lieu d'être.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude aux personnes qui m'ont encadré : docteur Antonio PINTI et docteur Hechmi TOUMI.

J'adresse encore un sincère merci aux membres du jury, professeur Rachid JENNANE, professeur Hassane ZOUHAL, professeur Cyril GARNIER, Dr. Zaher EL HAGE et Dr Antonio PINTI pour leurs bienveillances en acceptant de contribuer à l'évaluation de cette thèse. Pour moi, c'est un grand honneur.

Je dédie cette thèse à ma famille, mes parents et mes amis pour leur appui, leurs encouragements et leur soutien dans les périodes les plus pénibles et surtout pour la force qu'ils m'ont transmise afin que ce travail puisse s'achever.

Enfin, je remercie encore très sincèrement toutes les personnes qui ont participé à cette étude et ont accepté de se déplacer durant cette pandémie du corona virus pour exécuter les différents tests ainsi que les différents protocoles de cette thèse.

## Abréviations

1.25(OH) 2D	Calcitriol
25-OH-D	Calcifédiol
AINS	Anti Inflammatoire Non Stéroïdien
ASP	Acide Aspartique
BMP	Bone morphogenic protein
BMP2	Bone Morphogenetic Protein 2
CMO	Contenu Minéral Osseux
CCJ	Consommation Calcique Journalière
CRP	Proteine C Reactive
CSA	Surface de Section Transversale
DHEAS-S	Déhydroépiandrostérone-sulfate.
DMO	Densité Minérale Osseuse
DMOA	Densité Minérale Osseuse Apparente
DXA	Dual-energy Xray Absorptiometry
(GH)	Hormone de Croissance (Growing Hormone)
GWAS	Génome-Wide Association Study
IAAF	International Amateur Athletic Federation
IGF-1	Insulin-like Growth Factor Binding Protein-3
IGFBP	Insulin-like Growth Factor-1
IL-6	Interleukin 6
IMC	Indice de Masse Corporelle
LIPOXmax	Maximal Lipid oxidation
LRP5	Low-density lipoprotein Receptor-related Protein 5
mTOR	mechanistic Target Of Rapamycin, cible de la Rapamycin chez les mammifères
NASH	Non Alcoholic SteatoHepatitis, StéatoHépatite Non Alcoolique
NOF	National Foundation of Osteoporosis
PAI-6	Inhibiteur de l'Activateur du plasminogène
PDGF	Platelet-derived growth factor
PMO	Pic de Masse Osseuse



PTH	Parathormone
TBS	Score de l'os trabéculaire
TGF-B	Transforming Growth Factor Beta
TGF	Transforming Growth Factor
TNF- $\alpha$	Facteur de Nécrose Tumorale
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
VDR	Vitamin D Receptor

## Sommaire

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>1</b>
<b>ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>2</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>10</b>
PREMIÈRE PARTIE : REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	12
<b>1. Pic de masse osseuse</b> .....	13
1.1 Définition de la résistance osseuse.....	13
1.1.1 Définition du pic de masse osseuse .....	14
1.2 Intérêt du pic de masse osseuse.....	16
1.2.1 Intérêt de la prévention de l'ostéoporose.....	17
1.2.2 Conservation d'un IMC régulier et sain .....	18
1.2.3 Agir contre l'alcool et le tabac.....	19
1.2.4 Apports adéquats en vitamine D et calcium .....	20
1.2.5 Activité physique .....	21
1.2.6 Prévention médicamenteuse .....	22
1.3 Déterminants du pic de la masse osseuse.....	22
1.3.1 Les facteurs génétiques.....	23
1.3.2 Les facteurs hormonaux.....	24
1.3.3 Les facteurs nutritionnels.....	26
1.3.3.1. Les apports caloriques.....	26
1.3.3.2 Le calcium.....	26
1.3.3.3. Les protéines .....	29
1.3.3.4 La vitamine D.....	30
1.3.4 L'activité physique .....	32
1.3.5 Le poids .....	33
1.3.6 Autres facteurs .....	34
1.3.6.1 Le sommeil.....	34
1.3.6.2 Les polluants organiques.....	34
1.3.6.3 La prise médicamenteuse .....	35
<b>2. Obésité et paramètres de santé osseuse</b> .....	35
2.1 Obésité et résistance osseuse.....	35
2.1.1 Obésité et CMO/DMO.....	35
2.1.2 Obésité et paramètres géométriques de Beck .....	36
2.1.3 Obésité et score de l'os trabéculaire .....	36
2.1.4 Obésité et indices de résistance osseuse du col fémoral.....	36
2.1.5 Obésité et DMO/taille.....	36
2.2 Obésité et risque fracturaire .....	37

2.3 Mécanismes en faveur d'un effet positif de l'obésité sur les paramètres de santé osseuse ..	38
2.4 Mécanismes en faveur d'un effet négatif de l'obésité sur les paramètres de santé osseuse..	40
2.5 Interactions entre l'hypothalamus, l'os et le tissu adipeux .....	43
<b>3. Influence du type d'activité physique .....</b>	<b>45</b>
3.1 Réponse ostéogénique aux contraintes mécaniques .....	45
3.1.1 Principes de l'American College of Sports Medicine .....	46
3.1.1.1 La spécificité .....	46
3.1.1.2 La surcharge : .....	46
3.1.1.3 La réversibilité .....	46
3.1.1.4 Le capital de départ .....	47
3.1.1.5 L'entraînabilité .....	47
3.1.2 Principe de Burr .....	47
3.1.3 Applications pratiques dans la planification de l'entraînement physique chez les adultes .....	48
3.2 Les effets des facteurs mécaniques sur la géométrie osseuse .....	48
3.2.1 Les effets des facteurs mécaniques sur le score de l'os trabéculaire (TBS) .....	49
3.2.2 Les facteurs corrélables au TBS .....	49
3.2.3 Les résultats d'une diminution des contraintes .....	50
3.2.4 Les effets de l'activité sportive sur le tissu musculaire et osseux .....	50
<b>4. Réponse ostéogénique à l'exercice physique chez les sujets obèses .....</b>	<b>50</b>
4.1 Réponse ostéogénique à l'entraînement en endurance chez les sujets obèses .....	53
4.2 Réponse ostéogénique à l'entraînement de force chez les sujets obèses .....	55
<b>5. Les effets de l'entraînement en sprint .....</b>	<b>56</b>
5.1 Effets de l'entraînement de sprint sur l'os .....	56
5.2 Études menées sur les relations entre la course et le sprint sur la densité minérale osseuse .....	58
<b>SYNTHÈSE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>67</b>
DEUXIÈME PARTIE : CONTRIBUTION PERSONNELLE .....	69
<b>MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE .....</b>	<b>70</b>
<b>1. Conception des études menées .....</b>	<b>70</b>
<b>2. Recrutement des Sujets inclus dans l'étude principale .....</b>	<b>72</b>
2.1 Facteurs d'inclusion .....	72
2.2 Facteurs d'exclusion .....	72
2.3 Mesures anthropométriques .....	72
2.3.1 Mesures des paramètres osseux .....	73
2.4 Mesures de la force maximale et tests de performance physique (détente verticale, détente horizontale, triple bond) .....	73
2.5 Questionnaires .....	74
2.5.1 Test de consommation calcique journalière (mg/j) .....	74
2.5.2 Test de consommation protéique journalière (Morin et coll. 2005) .....	74
2.5.3 La qualité de sommeil (PSQI) .....	74
2.5.4 Le niveau d'activité physique (IPAQ) .....	75
2.6 Démarche expérimentale .....	75
<b>3. Étude statistique .....</b>	<b>76</b>

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE 1 : INDICES DE RÉSISTANCE OSSEUSE DU COL FÉMORAL CHEZ DES JEUNES HOMMES ACTIFS ET DES JEUNES HOMMES INACTIFS .....	77
<b>1. Résumé</b> .....	78
ÉTUDE PRÉLIMINAIRE 2 : RELATIONS ENTRE LA PUISSANCE MUSCULAIRE ET LES PARAMÈTRES DE SANTÉ OSSEUSE CHEZ DES JEUNES ADULTES LIBANAIS .....	80
<b>1. Résumé</b> .....	81
ÉTUDE PRÉLIMINAIRE 3 : RELATIONS ENTRE LA DÉTENTE VERTICALE ET LES INDICES DE RÉSISTANCE OSSEUSE DU COL FÉMORAL CHEZ UN GROUPE DE JEUNES FEMMES .....	93
<b>1. Résumé</b> .....	94
ÉTUDE PRINCIPALE : EFFETS D'UN AN D'ENTRAÎNEMENT EN SPRINT SUR LES PARAMÈTRES OSSEUX ET LES PARAMÈTRES DE PERFORMANCE PHYSIQUE CHEZ DES JEUNES HOMMES EN SURPOIDS .....	107
<b>1. Résumé</b> .....	108
<b>2. Résultats</b> .....	109
2.1 Caractéristiques cliniques de la population étudiée au départ.....	109
2.2 Corrélations entre les caractéristiques cliniques et les paramètres osseux.....	111
2.3 Caractéristiques cliniques de la population étudiée à la fin de l'intervention.....	113
2.4 Valeurs avant et après l'intervention dans le groupe entier .....	114
2.5 Pourcentages de variations des principaux paramètres .....	116
2.6 Interactions groupe * temps .....	117
2.7 Variations en réponse à l'entraînement dans chaque groupe .....	118
<b>DISCUSSION GENERALE</b> .....	130
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	133
<b>APPLICATIONS PRATIQUES</b> .....	134
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	135
<b>ANNEXES</b> .....	161
<b>RÉSUMÉ</b> .....	163

## Liste des tableaux

<b>Numéro et titre du tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau 1 : Consommation quotidienne en vitamine D	<b>30</b>
Tableau 2 : Études sur les relations entre la course et le sprint sur la densité minérale osseuse chez les sportifs	<b>58</b>
Tableau 3 : Les quatre études menées	<b>72</b>
Tableau 4 : Protocole de l'entraînement sur 12 mois	<b>77</b>
Tableau 5 : Caractéristiques cliniques de la population étudiée au départ	<b>111</b>
Tableau 6 : Corrélations entre les caractéristiques cliniques et les paramètres osseux	<b>113</b>
Tableau 7 : Caractéristiques cliniques de la population étudiée à la fin de l'intervention	<b>115</b>
Tableau 8 : Valeurs avant et après l'intervention dans le groupe entier	<b>117</b>
Tableau 9 : Pourcentages de variations des principaux paramètres	<b>119</b>
Tableau 10 : Tailles d'effet (valeurs d de Cohen) dans le groupe expérimental (n = 21)	<b>120</b>

## Liste des figures

<b>Numéro et titre de de la figure</b>	<b>Page</b>
Figure 1 : Remodelage osseux normal et physiologique (Judith et coll. 2012)	<b>14</b>
Figure 2 : Evolution de la masse osseuse avec l'âge (Galusca et coll. 2016)	<b>15</b>
Figure 3 : Remodelage osseux (Roux. 2010)	<b>16</b>
Figure 4 : Causes de la diminution de la masse osseuse maximale chez les femmes (Chew et Clarke. 2018)	<b>18</b>
Figure 5 : La diminution de la densité de minérale osseuse et l'augmentation du risque de fracture suite aux mécanismes pathophysiologiques du tabac	<b>19</b>
Figure 6 : La diminution de la DMO suite aux mécanismes pathogènes du tabac	<b>20</b>
Figure 7 : Vitamine D et pédiatrie (Bachetta, 2019)	<b>21</b>
Figure 8 : Adaptation architecturale du tissu osseux suite à l'activité physique (Ducher et coll. 2006)	<b>22</b>
Figure 9 : Les principaux déterminants physiologiques du pic de la masse osseuse (Ducher et coll. 2006)	<b>23</b>
Figure 10 : Les effets hormonaux sur les cellules osseuses (Bellido et coll. 2013)	<b>25</b>
Figure 11 : Les différences moyennes en pourcentage de changement entre les groupes avec et sans exercice pour le contenu minéral osseux des jambes sont indiquées, la ligne en pointillés reliant l'effet de l'exercice dans les groupes calcium et placebo de la même étude. Les différences entre les groupes étaient plus importantes lorsque les apports en calcium étaient plus élevés dans les trois études (toutes les interactions entre l'exercice et le calcium étaient significatives à $p < 0,05$ ) (Specker et al. 2015)	<b>29</b>

<b>Numéro et titre de de la figure</b>	<b>Page</b>
Figure 12 : Diagramme du rôle clé que joue le calcitriol, synthétisé au sein de la cellule concernée, dans les réponses cellulaires nécessitant l'expression des gènes. (Heany, 2008)	<b>31</b>
Figure 13 : Relation entre l'IMC et le risque de fracture (Johansson et coll. 2014)	<b>37</b>
Figure 14 : Risques de chutes chez les sujets obèses (Rinonapoli et coll. 2021)	<b>38</b>
Figure 15 : Mécanismes d'action de l'hyperinsulinémie sur la masse osseuse chez les femmes post-ménopausées (Reid, 2010)	<b>39</b>
Figure 16 : Mécanismes en faveur d'un effet positif de la masse grasse sur la santé osseuse (Rosen et Bouxsein, 2006).	<b>40</b>
Figure 17 : Effets négatifs de la consommation des acides gras saturés sur le métabolisme osseux (Fintini et coll. 2020)	<b>41</b>
Figure 18 : Eléments en faveur d'une qualité osseuse réduite chez les sujets obèses (Fintini et coll. 2020).	<b>42</b>
Figure 19 : Altération du remodelage osseux et de la qualité osseuse chez les sujets obèses (Fintini et coll. 2020)	<b>43</b>
Figure 20 : Résumé sur les interactions entre l'hypothalamus, l'os et le tissu adipeux (Savvidis et coll. 2018)	<b>44</b>
Figure 21 : Résultats de la méta-analyse réalisée par Zouhal et coll. (2022)	<b>52</b>
Figure 22 : Résultats de la méta analyse menée par Chaplais et coll. (2018)	<b>53</b>

## Introduction

L'ostéoporose est une maladie osseuse fréquente au Liban notamment chez les personnes âgées (El Hage et coll. 2014 ; Ayoub et coll. 2014). L'incidence des fractures de la hanche a été étudiée par plusieurs études épidémiologiques nationales (Yang et coll. 2021). Le pic de masse osseuse (PMO) est un déterminant majeur du risque de fractures plus tard dans la vie (Bonjour et coll. 2009 ; Chevalley et coll. 2009). Le poids corporel, l'indice de masse corporelle, la masse maigre et la puissance musculaire sont des facteurs corrélables aux valeurs de densité minérale osseuse (DMO) à l'âge du pic de masse osseuse comme démontré par plusieurs études transversales et longitudinales (Bonjour et coll. 2009 ; Finianos et coll. 2020). Le fait d'être en surpoids est généralement associé à une augmentation des valeurs de DMO en particulier au niveau des sites porteurs tels que la hanche et le rachis lombaire (Fassio et coll. 2013 ; Rinonapoli et coll. 2021).

Cependant, les relations entre le surpoids/l'obésité et les paramètres osseux semblent être largement influencée par le genre et l'âge de la population étudiée (Maïmoun et coll. 2016 ; Fintini et coll. 2020). Chez l'homme, l'excès de masse grasse peut négativement influencer les paramètres de santé osseuse ; les mécanismes sous-jacents ont été bien décrits (Berro et coll. 2019).

En particulier, l'augmentation de la masse grasse viscérale est associée à une augmentation des cytokines inflammatoires, et à une diminution des niveaux de testostérone et d'hormone de croissance (Malkin et coll. 2004 ; Khosla et coll. 2002). Il a été démontré que les hommes obèses et en surpoids ont des valeurs de DMO/poids faibles par rapport aux hommes normo-pondérés (El Khoury et coll. 2017 ; Rocher et coll. 2013). De plus, les indices de résistance osseuse du col fémoral sont inférieurs chez les hommes obèses et en surpoids par rapport aux hommes normo-pondérés (El Khoury et coll. 2018).

Les contraintes mécaniques sont connues pour leurs effets positifs sur la minéralisation osseuse ; cet effet dépend de l'âge et de la maturité sexuelle des sujets. En effet, les cellules osseuses sont très sensibles aux contraintes mécaniques durant l'adolescence (Blanchet et coll. 2002). Une méta-analyse récente a démontré que l'entraînement en endurance est efficace pour augmenter la DMO chez les adultes obèses (Zouhal et coll. 2022). D'autres études ont exploré les effets d'un entraînement combiné (force + endurance) sur les paramètres osseux chez les adultes obèses (Berro et coll. 2020 ; El



Khoury et coll. 2016). Peu d'études se sont intéressées à explorer les effets du sprint sur les paramètres osseux (Ravnholt et coll. 2018 ; Larsen et coll. 2018).

De plus, il n'y a, à notre connaissance, aucune étude ayant exploré les effets d'un entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez les adultes en surpoids. Les sprinteurs ont généralement des valeurs élevées de DMO (Piasecki et coll. 2018 ; Korhonen et coll. 2012). La performance en sprint est positivement corrélée aux paramètres de santé osseuse dans plusieurs populations (Finianos et coll. 2020 ; Finianos et coll. 2021).

L'objectif principal de cette thèse est d'explorer les effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez des jeunes hommes en surpoids. L'hypothèse de cette thèse est que ce type d'entraînement aurait un effet positif sur la densité minérale osseuse et les paramètres de performance physique sans pour autant affecter significativement la composition corporelle.

La thèse inclut également trois études préliminaires ayant les objectifs suivants :

- Comparer les indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes actifs et des jeunes hommes inactifs ;
- Explorer les relations entre la puissance maximale des membres inférieurs et les valeurs de DMO chez les jeunes adultes ;
- Explorer les relations entre la détente verticale et les indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes femmes.

**Première partie :**  
**Revue de la littérature**

## **1. Pic de masse osseuse**

### **1.1 Définition de la résistance osseuse**

La charpente du corps est constituée par les os qui sont par nature rigides et préparés à réagir aux différentes contraintes. La caractéristique principale du tissu osseux est la résistance aux forces du fait de ses fonctions de support et de protection.

Pendant la croissance, qui est la période d'acquisition du capital osseux, la résistance mécanique osseuse acquise est déterminée par plusieurs éléments : la taille de l'os, le contenu minéral osseux, la distribution du tissu osseux, l'organisation structurale de la matrice organique, la géométrie osseuse et le degré de minéralisation (Bonjour et coll. 2009).

D'autres éléments influencent aussi la résistance osseuse : les paramètres de la microarchitecture osseuse comme le nombre, l'épaisseur et l'orientation des travées (produisant l'anisotropie de la structure), leur degré de connectivité et l'espacement entre les travées contribuent à la rigidité des os. Le squelette fournit des bras de levier pour la fixation des muscles et les forces générées par la contraction musculaire induisent des changements dans l'architecture osseuse.

La densité minérale osseuse (DMO) est mesurée par DXA et constitue un déterminant important de la rigidité des os à tout âge (Goulding et coll. 2000).

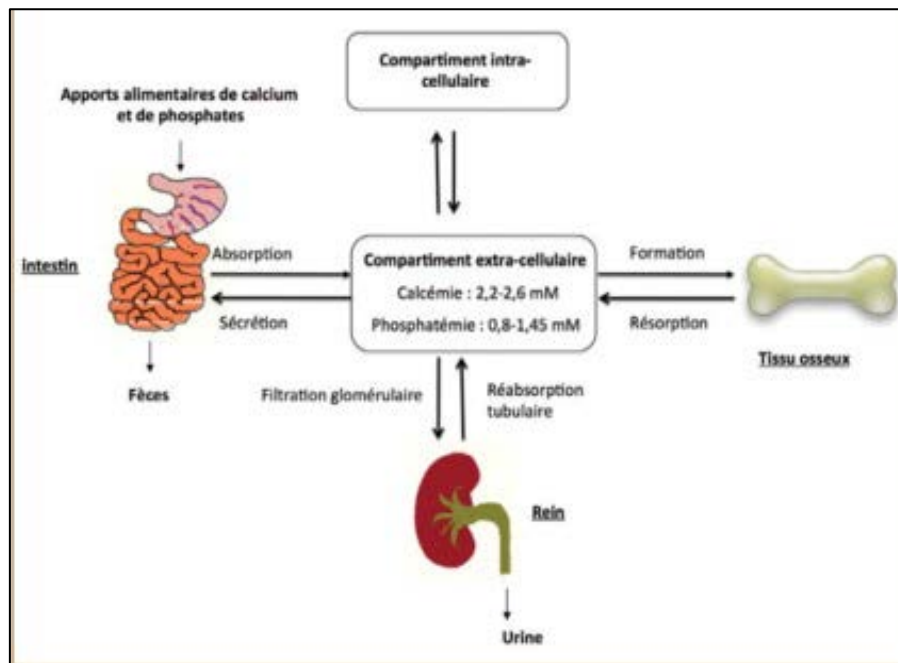


Figure 1 : Remodelage osseux normal et physiologique (Judith et coll. 2012)

### 1.1.1 Définition du pic de masse osseuse

Le pic de masse osseuse est un déterminant important du risque de fracture. Il dépend de l'accumulation de la masse minérale osseuse de l'enfance à la post-puberté et résulte d'un processus complexe impliquant des interactions entre des facteurs génétiques et endocriniens (Rizzoli et coll. 2010), mais aussi la nutrition et le niveau et le type d'activités physiques pratiquées.

Le pic de masse osseuse (PMO) peut être défini comme la valeur la plus élevée de la masse osseuse atteinte au cours de la vie en un site squelettique donné. Ce pic est atteint lorsque la courbe d'évolution devient plate et que sa variation arrête d'être positive (Weaver et coll. 2016).

Lors de la vie fœtale, le développement de la masse osseuse se fait surtout au niveau des vertèbres lombaires et du col fémoral. La masse osseuse évolue ainsi : pendant l'enfance, elle commence par augmenter lentement, à la puberté elle s'accélère, et enfin se stabilise après l'atteinte du pic de la taille corporelle (Figure 2), elle arrive à son maximum, indépendamment de l'âge, du sexe et du site osseux (Bailey et coll. 1999). Chez la femme adulte, une augmentation du PMO de 10 % pourrait diminuer le risque de fracture, de fragilité de 50 % ou être équivalente à un retardement des effets de la ménopause de 14 ans (Rizzoli et coll. 2010).

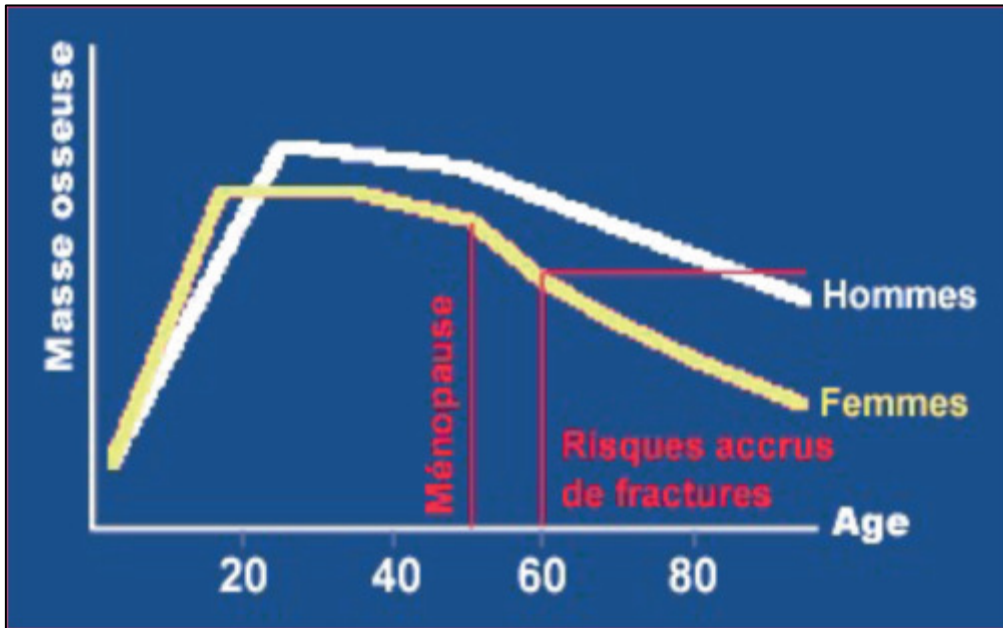


Figure 2 : Evolution de la masse osseuse avec l'âge (Galusca et coll. 2016)

Après la ménarche qui est la période où apparaissent les premières règles, le gain de masse osseuse chez les adolescentes diminue rapidement et s'achève deux ans plus tard en particulier au niveau du rachis lombaire et du col fémoral. En revanche, chez les garçons, ce gain est important entre 13 et 17 ans, puis diminue en restant significatif jusqu'à l'âge de 20 ans (Weaver et coll. 2016).

Des études longitudinales et observationnelles, confirmées par Berger et coll. (2010) montrent que le PMO chez les femmes est situé au niveau du rachis lombaire (à 30 ans) et de la hanche (entre 16 et 19 ans) (Berger et coll. 2010). Par contre, l'âge moyen chez les garçons et les filles auquel le pic de développement de leur densité minérale totale est atteint, est respectivement de 14,1 et 12,5 ans (Bailey et coll. 1999). Quatre ans après ce pic, 95% de la masse osseuse sera acquise (Baxter-Jones et coll. 2011).

Ce développement est contrôlé par un remodelage continu qui permet de préserver l'intégrité des os, tout en assurant leur adaptation aux différents besoins mécaniques et biologiques (Figure 3). Il est composé de deux phases : la formation et la résorption (Weaver et coll. 2016).

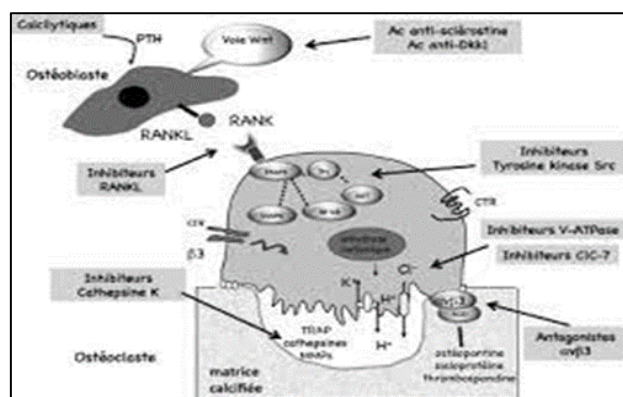


Figure 3 : Remodelage osseux (Roux. 2010)

A tout âge, la résistance osseuse est déterminée par la différence entre la formation et la résorption (Kanis et coll. 2008). La masse osseuse est fortement corrélée à la masse musculaire.

## 1.2 Intérêt du pic de masse osseuse

L'augmentation de la masse osseuse est corrélée positivement avec la résistance des os. Ainsi, la maximalisation du PMO possède un effet préventif contre le risque de fracture chez les enfants et les adultes (Holloway et coll. 2015). Comparée aux adultes, l'incidence des fractures osseuses est plus élevée chez les enfants (Cooper et coll. 2004).

Avant la puberté, le statut osseux est fortement corrélé avec celui observé lors de l'adolescence ( $r$  variant entre 0.5 à 0.9) (Weaver et coll. 2016). De même, durant l'adolescence, quand la masse osseuse augmente, le risque d'être fracturé plus tard durant la vie diminue, indépendamment de la pratique du sport et de l'incidence des chutes.

Ces observations expliquent le concept de Tracking : durant la vie, la variation de la croissance osseuse a lieu selon des modèles stables et bien définis. En pratique, cela indique que la masse osseuse, à l'âge adulte, peut prédire le statut osseux plus tard dans la vie. Etant donné que la variation des Z-scores est minime avec l'âge, le gain osseux, lors de la période de croissance, apparaît plus important que sa perte en vieillissant (Bonjour et coll. 2009).

### 1.2.1 Intérêt de la prévention de l'ostéoporose

L'ostéoporose est déterminée cliniquement par la mesure de la densité minérale osseuse (Kanis et coll. 2005). Elle se définit comme une diminution de la résistance osseuse, une faible valeur de densité osseuse et un dommage de la microarchitecture osseuse. L'ostéoporose est une maladie osseuse diffuse, qui entraîne une augmentation du risque des fractures.

Une scintigraphie osseuse produit un nombre appelé T-score. Cette valeur numérique donnera une idée de l'état actuel de la densité osseuse. Elle peut indiquer si c'est une ostéoporose ou non.

Un score T compris entre -1 et -2,5 indique que la masse osseuse d'une personne est faible et le risque de fracture est élevé. Un diagnostic d'ostéoporose est posé si le score T d'une personne est inférieur ou égal à -2,5 (Sözen et coll. 2017)

On distingue :

- L'ostéoporose primitive qui reste le meilleur prédicteur des fractures. Elle est particulièrement reliée, chez les femmes, à l'âge et à la ménopause.
- Les ostéoporoses secondaires, iatrogènes, toxiques, endocriniennes ou métaboliques, sont plus fréquentes chez l'homme (Rosen, 2009).
- L'ostéoporose post-ménopausique résulte d'altérations du remodelage osseux avec un déséquilibre entre une résorption osseuse excessive et une formation osseuse défectueuse (Reid, 2010).

Les inhibiteurs de la résorption osseuse -les bisphosphonates- sont actuellement la base du traitement de l'ostéoporose. Par contre la seconde approche du traitement de l'ostéoporose sont les agents anaboliques comme la parathormone qui ont un rôle stimulateur de la formation osseuse, le développement des inhibiteurs de RANKL, anticorps anti-RANKL, les inhibiteurs de la cathepsine K ou les antagonistes de l'intégrine  $\alpha\beta3$  (Roux, 2010).

La prévention de l'ostéoporose est une priorité de santé mondiale, elle est basée sur la stratification de la population et sur un traitement appliqué au début de la maladie chez les sujets les plus prédisposés. La fragilité osseuse n'est pas toujours la cause des fractures traumatiques (Ferrari et coll. 2006). Par contre ces fractures sont en relation avec l'augmentation de la DMO et du Z-score, au cours de l'enfance et l'adolescence. Le risque d'avoir des fractures ultérieures est élevé si le Z-score

est faible (Ferrari et coll. 2006), et la diminution de la masse osseuse maximale chez les femmes par les facteurs génétiques, environnementaux inadéquats et enfin la ménopause (Figure 4).

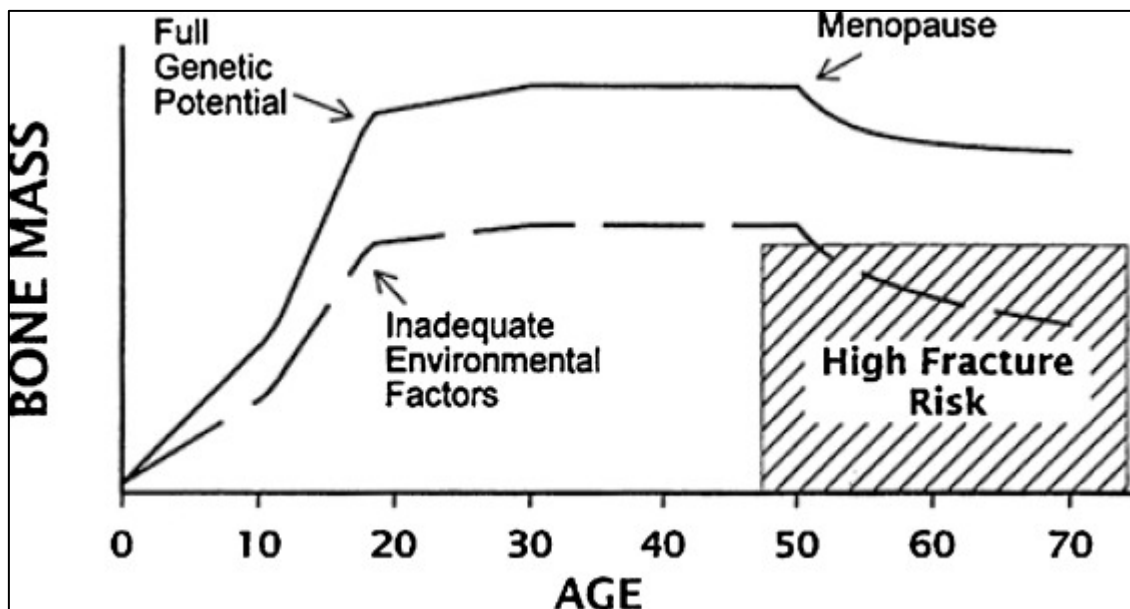


Figure 4 : Causes de la diminution de la masse osseuse maximale chez les femmes (Chew et Clarke. 2017)

L'ostéoporose reste largement sous-diagnostiquée et insuffisamment traitée car elle est cliniquement silencieuse jusqu'à ce qu'elle se manifeste par des fractures (Reid et coll. 2020). De nombreux facteurs ont été associés à un risque plus élevé de déminéralisation osseuse, notamment l'âge, le traitement prolongé par glucocorticoïdes ou la privation d'œstrogènes. La prévention de l'ostéoporose doit commencer à partir de l'enfance, les os étant plus sensibles aux contraintes mécaniques, entraînés par l'activité sportives surtout chez les os non matures (Ducher et coll. 2006)

### 1.2.2 Conservation d'un IMC régulier et sain

L'IMC ne reflète pas seulement la masse grasse mais aussi la masse osseuse et le volume des muscles. Ainsi, deux personnes ayant le même IMC peuvent avoir des quantités de graisse extrêmement variables. L'IMC est réellement corrélé à la DMO (Reid, 2010). Ainsi les sujets les plus maigres sont menacés par l'ostéoporose ce qui les emmène à avoir des fractures (Rosen et Klibanski,



2009). La perte de la masse osseuse, telle qu'elle se produit dans l'ostéopénie et l'ostéoporose, est l'un des troubles osseux métaboliques les plus courants (Liu et coll. 2019).

### 1.2.3 Agir contre l'alcool et le tabac

La consommation excessive d'alcool et de cigarettes est associée à une diminution de la densité minérale osseuse (DMO) ainsi qu'à un risque augmenté de fracture (Figure 5) . La consommation excessive d'alcool influence négativement le métabolisme osseux par plusieurs mécanismes (Maurel et coll. 2012).

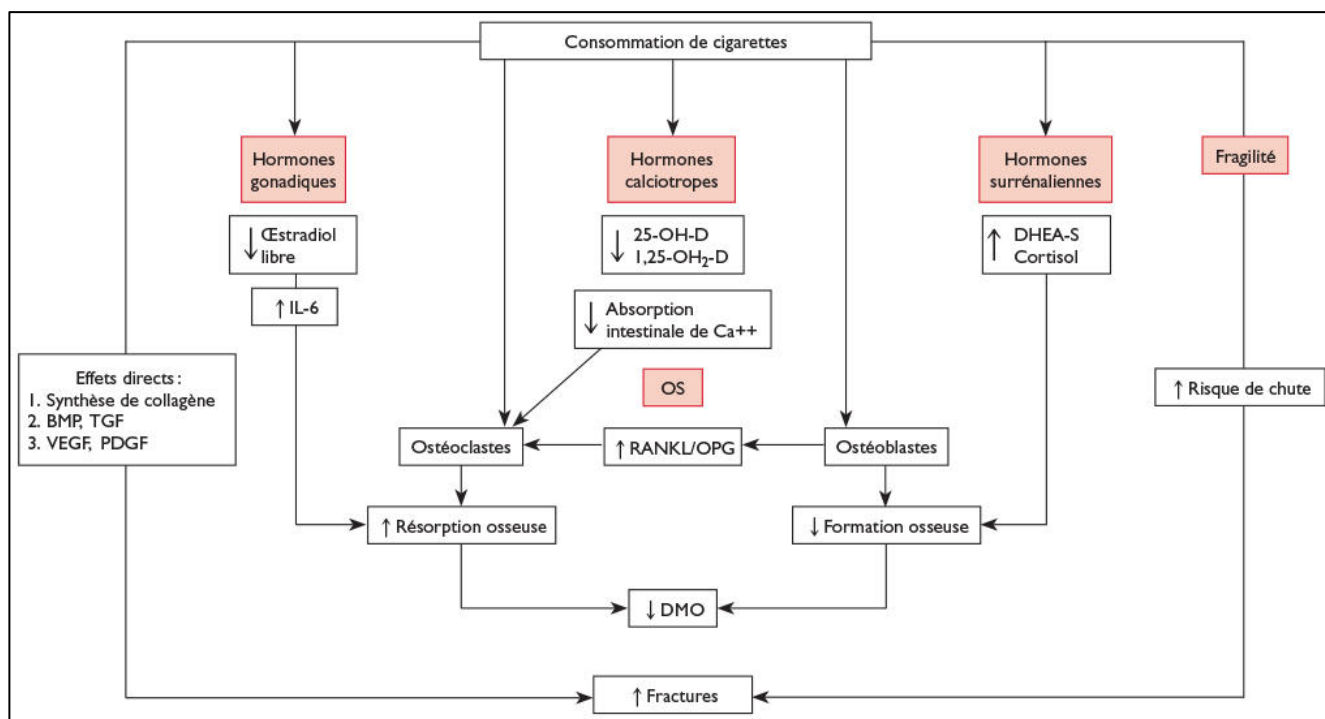


Figure 5 : La diminution de la densité minérale osseuse et l'augmentation du risque de fracture suite aux mécanismes patho-physiologiques du tabac (Duthon et coll. 2014)

Le fait d'inhaler quotidiennement, de façon involontaire, la fumée dégagée par la présence d'un ou plusieurs fumeurs ou de sa fumée active a un effet nocif sur la DMO chez les hommes et les femmes non ménopausées (Figure 6). Il existerait une association négative entre les gènes impliqués dans le tabagisme et la densité minérale osseuse (DMO) : elle serait négativement associée à la DMO

mesurée au niveau du talon, puis tendrait à l'être pour la DMO mesurée au niveau du col du fémur et de l'avant-bras, mais ne le serait pas au niveau de la DMO lombaire. Parallèlement, aucune association n'a été retrouvée concernant les gènes impliqués dans la consommation d'alcool et la DMO (Guo et coll. 2008).

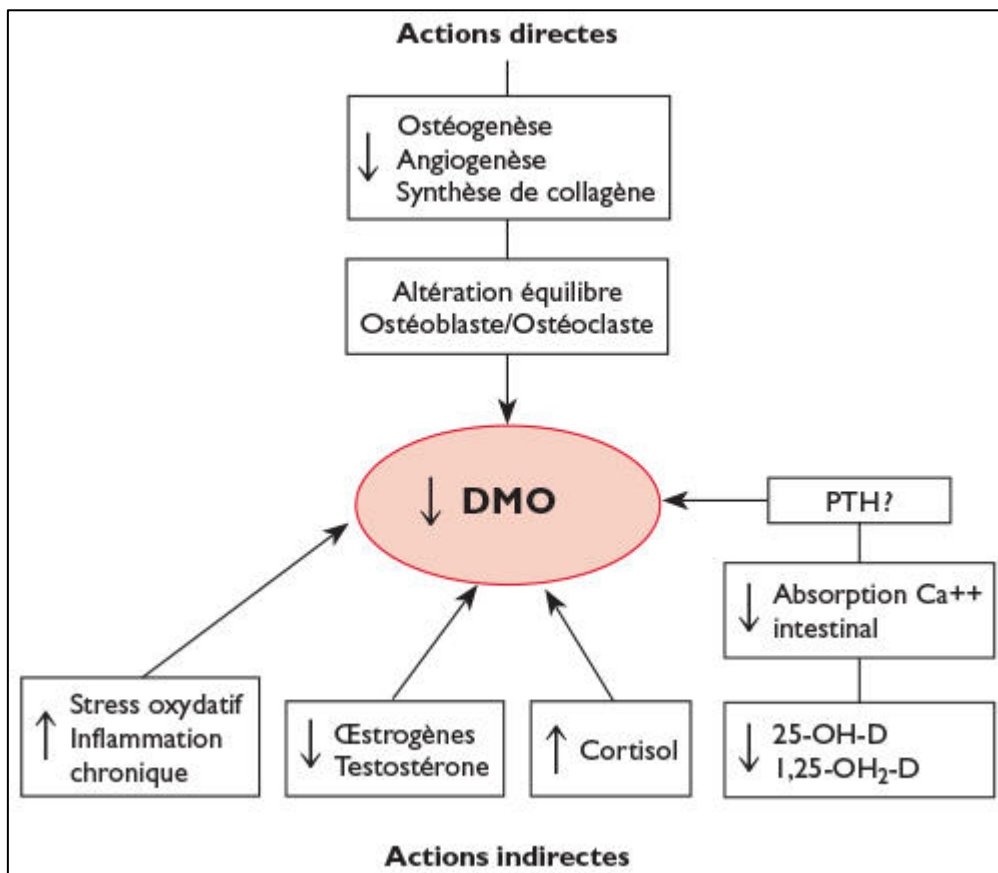


Figure 6 : La diminution de la densité minérale osseuse suite aux mécanismes pathogènes du tabac (Duthon et coll. 2014)

#### 1.2.4 Apports adéquats en vitamine D et calcium

Un manque de vitamine D et de calcium augmente le risque de l'ostéoporose. La compréhension physiologique de la vitamine D a nettement évolué, sa conception est passé d'une hormone purement phosphocalcique et osseuse à une hormone qui a un rôle important sur la santé entière du corps (rôles anti-infectieux, anti-inflammatoire, anti-tumoral et protecteur cardiovasculaire). Alors un apport adéquat nécessite d'être assuré pour acquérir une bonne santé osseuse. En parallèle

plusieurs études épidémiologiques ont montré l'importance de la vitamine D chez les enfants (Figure 7), les adultes et la population entière (Bacchetta, 2019).

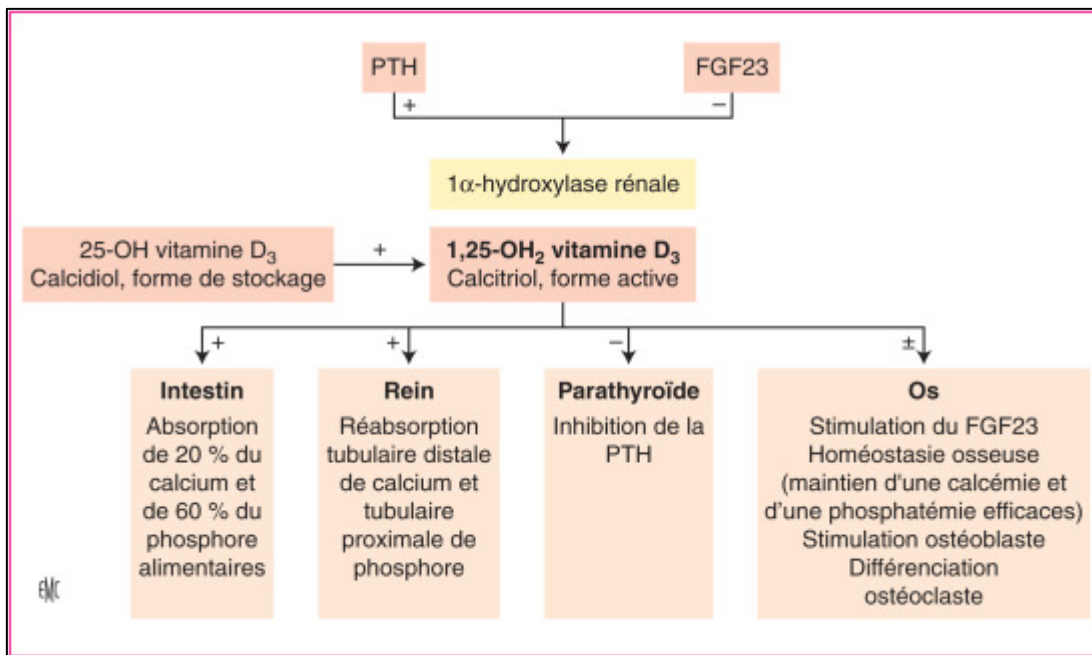


Figure 7 : Vitamine D et pédiatrie (Bacchetta .2019)

### 1.2.5 Activité physique

L'exercice physique a des effets significatifs sur la masse osseuse et la macroarchitecture osseuse (Figure 8), mais le programme d'entraînement le plus adéquat et le type de sport idéal pour la santé osseuse restent à déterminer (Kelley et coll. 2013).

Les sports à fort impact comme la course de haies, le sprint et le volley-ball entraînent une augmentation de la masse osseuse au niveau de l'extrémité supérieure du fémur. Par contre les sports répétitifs à faible impact comme la natation et le cyclisme, qui nécessitent d'importantes forces musculaires mais ne fournissent pas de charge axiale, n'entraînent pas une augmentation de la masse osseuse.

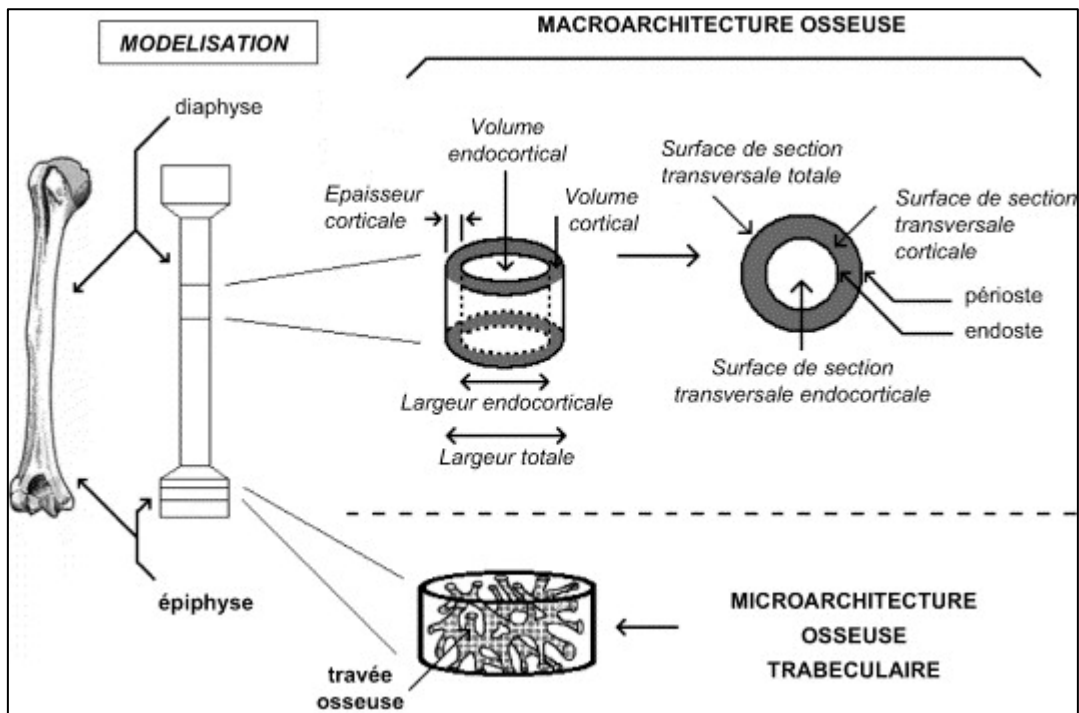


Figure 8 : Adaptation architecturale du tissu osseux suite à l'activité physique (Ducher et coll. 2006)

### 1.2.6 Prévention médicamenteuse

La prévention pharmacologique de l'ostéoporose est limitée. En pratique, en plus du traitement hormonal substitutif, trois types de médicaments sont utilisés : les bisphosphonates (alendronate, ibandronate et risédronate) et le raloxifène.

### 1.3 Déterminants du pic de la masse osseuse

L'os est un tissu vivant. Son statut résulte de l'interaction de plusieurs éléments (Bonjour et coll. 2009 ; Rizzoli et coll. 2010). Les principaux déterminants physiologiques du pic de masse osseuse sont les facteurs génétiques (d'un point de vue quantitatif, ils sont les déterminants les plus importants), les nutriments (la vitamine D, les protéines...), les facteurs endocriniens et les forces mécaniques (activité physique et poids) (figure 9).

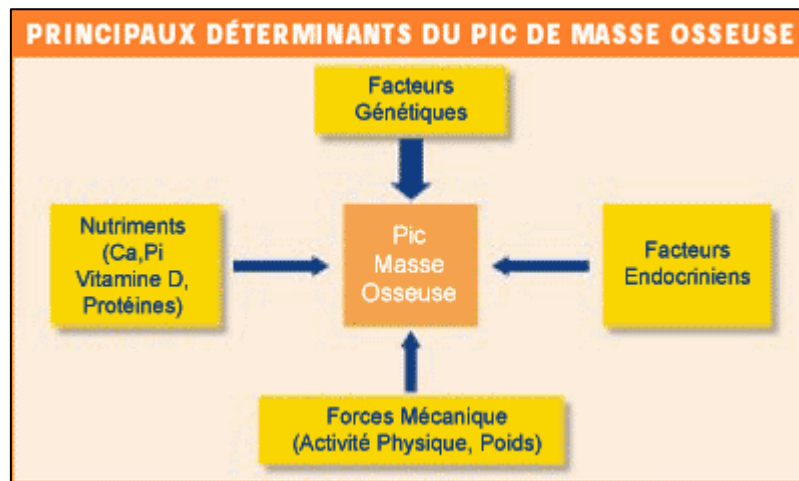


Figure 9 : Les principaux déterminants physiologiques du pic de masse osseuse (Ducher et coll. 2006)

### 1.3.1 Les facteurs génétiques

Les facteurs génétiques représentent approximativement 80% de la variance totale de la masse osseuse. (Bonjour et coll. 2009). L'activation de l'axe hypothalamo – hypophyso – gonadique provoque le début de la puberté qui est sous le contrôle de plusieurs facteurs génétiques. L'IGF joue un rôle important au commencement de la puberté en stimulant la croissance osseuse. (Alos et Rauch, 2009). Les œstrogènes ont un effet sur l'allongement des os dans les deux sexes. Ils accélèrent la croissance osseuse longitudinale au début de la puberté, et à la fin de la puberté, ils stimulent la fermeture des cartilages de croissance.

La filiation joue un rôle dans le risque d'incidence de l'ostéoporose. Ferrari et coll. (1999) ont trouvé une corrélation significative entre la densité minérale osseuse des mères et de leurs filles avant la puberté ; ces résultats sont confirmés par d'autres études (Bonjour et coll. 2009 ; Duren et coll. 2007). Des auteurs ont comparé des vrais et des faux jumeaux et ont démontré une contribution génétique de l'ordre de 80% dans la variation de la masse osseuse adulte (Eisman, 1999). L'effet de ces facteurs paraît dépendant du site squelettique ; leur effet est plus visible au niveau de la colonne lombaire par rapport au col fémoral (Eisman, 1999). D'autres études ont identifié plus de 70 sites génétiques responsables de la densité minérale osseuse (Zheng et coll. 2012).

### 1.3.2 Les facteurs hormonaux

Chez les adolescents, l'hormone de croissance (GH) joue un rôle principal dans l'augmentation de la masse osseuse (Alos et Rauch, 2009). L'hormone de croissance (growth hormone : GH), l'IGF-1 et les hormones sexuelles jouent un rôle important non seulement dans la croissance mais aussi pour l'optimisation du pic de masse osseuse (Locatelli and Bianchi, 2014), et l'augmentation de ces deux hormones est importante dans les 2 sexes. Une ostéoformation et une modification de la taille et de l'épaisseur des os longs sont observées suite à cette augmentation (Alos et Rauch, 2009).

L'acquisition du pic de la DMO est fortement influencée par les hormones sexuelles : les œstrogènes et la testostérone, (Bonjour et coll. 2009 ; Reid, 2008). Chez les garçons et chez les filles le surcroît des androgènes surrénaliens a des bénéfices sur l'augmentation de la masse osseuse (Alos et Rauch, 2009). Chez les filles, l'accumulation de l'os endocortical est favorisée par l'influence des œstrogènes : 50 % de la DMO est acquise dans les deux ans qui précèdent et qui suivent la puberté.

La déficience en hormone de croissance cause une diminution de la DMO chez les enfants et une augmentation du risque de fracture vertébrale et autres chez les adultes (Giustina et coll. 2008). Le traitement substitutif favorise le développement des os, une augmentation de leur résistance et un gain relatif de la DMO. (Locatelli et Bianchi, 2014). L'IGF-1 est le médiateur de la GH. Une corrélation positive entre l'IGF-1 et la DMO est observée dans les deux sexes. La diminution de son taux est associée à une augmentation du risque de fractures ostéoporotiques indépendamment de la DMO (Garnero et al. 2000). Au niveau rénal, cette hormone favorise la production du 1,25(OH) 2 D et l'augmentation de son taux dans le sang. En résumé, la GH et l'IGF-1 sont des régulateurs de l'homéostasie osseuse. Ils possèdent un effet positif important sur l'anabolisme osseux, le traitement des fractures et donc la prévention de l'ostéoporose (Locatelli et Bianchi, 2014).

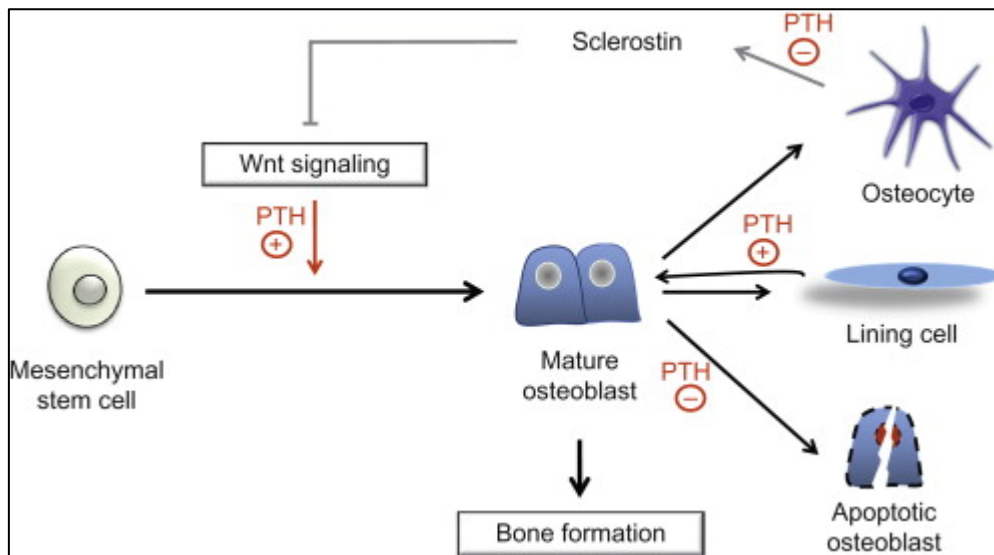


Figure 10 : Les effets hormonaux sur les cellules osseuses (Bellido et coll. 2013)

L'hormone parathyroïdienne augmente la formation et la résorption osseuses en agissant par le biais de récepteurs exprimés dans les cellules de la lignée ostéoblastique, et exerce des effets cataboliques ou anaboliques selon le mécanisme d'élévation (continu ou intermittent). Les stéroïdes sexuels, androgènes et œstrogènes, protègent le squelette en croissance et en maturation par l'intermédiaire de récepteurs exprimés dans les ostéoblastes, ainsi que dans les ostéoclastes, en maintenant l'équilibre entre la formation et la résorption osseuses (Figure 10).

Les glucocorticoïdes, lorsqu'ils sont présents en excès en raison d'une élévation endogène ou de leur administration dans le cadre d'un traitement immunosuppresseur, ont des effets délétères sur l'os : l'accélération de la résorption osseuse, l'inhibition de la formation osseuse et l'augmentation de la fragilité osseuse. D'autres hormones, comme l'hormone thyroïdienne, l'hormone de croissance, l'insuline, la 1,25-dihydroxyvitamine D3 et la leptine, affectent le développement osseux et l'homéostasie du squelette mature en agissant sur les cellules osseuses des lignées mésenchymateuses et hématopoïétiques.

### 1.3.3 Les facteurs nutritionnels

#### 1.3.3.1. Les apports caloriques

Une nutrition adéquate est nécessaire tout au long de la vie pour assurer une résistance optimale des os. D'autre part, un régime hypocalorique entraîne une diminution de la masse corporelle maigre et une diminution des contraintes mécaniques sur les os, entraînant une augmentation de la résorption osseuse et une diminution de la formation osseuse (Rizzoli et coll. 2008).

Durant les 20 premières années, le capital osseux continue de croître. Les apports caloriques doivent répondre aux besoins quotidiens, mais aussi aux besoins supplémentaires liés à la croissance osseuse. Une réduction de 30% des calories pendant cinq jours réduira de 10% les marqueurs d'activité des ostéoblastes (Ihle et Loucks, 2004).

Pendant la puberté, en quelques années, le corps formera près de la moitié du squelette. La consommation de glucose augmente la sécrétion de calcitonine (Clowes et coll. 2002).

La malnutrition est courante chez les personnes âgées et modifie leur masse musculaire, ce qui diminue leur force et leur capacité à maintenir leur équilibre. Ceci augmente le risque de chutes et donc de fractures.

#### 1.3.3.2 Le calcium

À la naissance, le squelette contient deux à trois pourcents de calcium. Le besoin alimentaire de ce micronutriment est variable au cours de la croissance (Weaver et coll. 2016).

A l'âge adulte, l'apport doit compenser la perte évidente de calcium ou la perte accrue chez la femme dans des circonstances particulières comme la grossesse et l'allaitement.



L'apport calcique doit être adéquat pour atteindre le pic osseux optimal et diminuer les pertes osseuses liées à l'âge (Cashman et coll. 2007). Plusieurs études ont exploré les relations entre la consommation calcique journalière (CCJ) et la masse osseuse chez des enfants et des adolescents.

Le calcium est indispensable pour la croissance normale et le développement des os. Chez les sujets en croissance, un apport accru en calcium est associé à une meilleure acquisition osseuse, entraînant un pic de masse osseuse plus élevé. (Bonjour et coll, 2001).

Dans le régime alimentaire, le calcium est un élément essentiel et probablement le plus important pour l'obtention d'un pic de masse osseuse optimal chez les garçons. Cependant, si un apport adéquat en calcium et en protéines s'est avéré essentiel pour la santé des os chez les adolescents, il est donc aussi essentiel pour la prévention et le traitement de l'ostéoporose chez les personnes âgées. (Rizzoli et coll. 2008). La perte osseuse est activée lors de la ménopause qui survient en moyenne à 50 ans. Les déficits hormonaux qui la caractérisent peuvent préparer le terrain à une ostéoporose ultérieure. On peut prévenir la ménopause grâce à l'hormonothérapie. Les suppléments de calcium et de vitamine D réduisent considérablement le risque de fractures (Reid et coll. 2002). L'absorption du calcium diminue avec l'âge chez les hommes comme chez les femmes, en particulier après l'âge de 60 ans, et des modifications bien documentées du métabolisme minéral se produisent aussi au même âge chez les hommes.

Un changement des habitudes alimentaires, des apports suffisants en calcium, en protéines et en vitamine D ont prouvé une bonne relation avec la masse osseuse (Rizzoli et coll. 2010). Ainsi il y a une véritable capacité à diminuer le risque de fractures chez les personnes ostéoporotiques grâce à un bon remodelage osseux et une bonne formation osseuse (Bonjour et coll. 1997). L'apport calcique augmente la concentration calcique sérique et diminue la sécrétion de l'hormone parathyroïdienne (PTH) ce qui cause une augmentation de la densité minérale osseuse au niveau de la hanche et de la colonne vertébrale (Reid et coll. 2015). Ses effets semblent dépendants du site osseux et de la dose journalière de calcium ingérée (Bonjour et coll. 1997). Deux méta-analyses et une revue systématique récente confirment l'effet bénéfique des produits riches en

calcium sur la masse osseuse durant la croissance (Huncharek et coll. 2008 ; Weaver et coll. 2016 ; Winzenberg et coll. 2006).

Le corps humain adulte contient environ 1 kg de calcium, dont plus de 99 % sont déposés dans les os sous forme de phosphate de calcium (Zhou et coll. 2013). Le calcium est impliqué dans un grand nombre d'aspects de la vie, tels que la contraction musculaire, l'activation des enzymes, la différenciation cellulaire, la réponse immunitaire, la mort cellulaire programmée et l'activité neuronale (Zhonc et coll. 2013). Les trois études (Bass et coll. 2007 ; Iuliano-Burns et coll. 2003 ; Specker et Binkley. 2003) ont étudié l'effet de l'apport en calcium sur la réponse osseuse à l'exercice. Elles ont montré que l'augmentation du contenu minéral osseux des jambes avec l'exercice était plus importante chez les enfants qui avaient été randomisés pour recevoir un supplément de calcium (interaction statistiquement significative entre le calcium et l'exercice) (Fig. 12). Les différences en pourcentage de changement allaient de 1,5 % à 3,7 % de plus chez les enfants assignés à l'exercice par rapport aux enfants assignés au groupe de contrôle, et dans les trois études, cet effet était statistiquement significatif. Une autre étude (Johannsen. 2021) a trouvé une corrélation entre le changement du contenu minéral osseux des jambes et l'apport en calcium dans le groupe d'intervention mais pas dans le groupe de contrôle, ce qui soutient l'hypothèse que l'apport en calcium modifie la réponse osseuse à l'exercice, au moins pour le contenu minéral osseux des jambes.

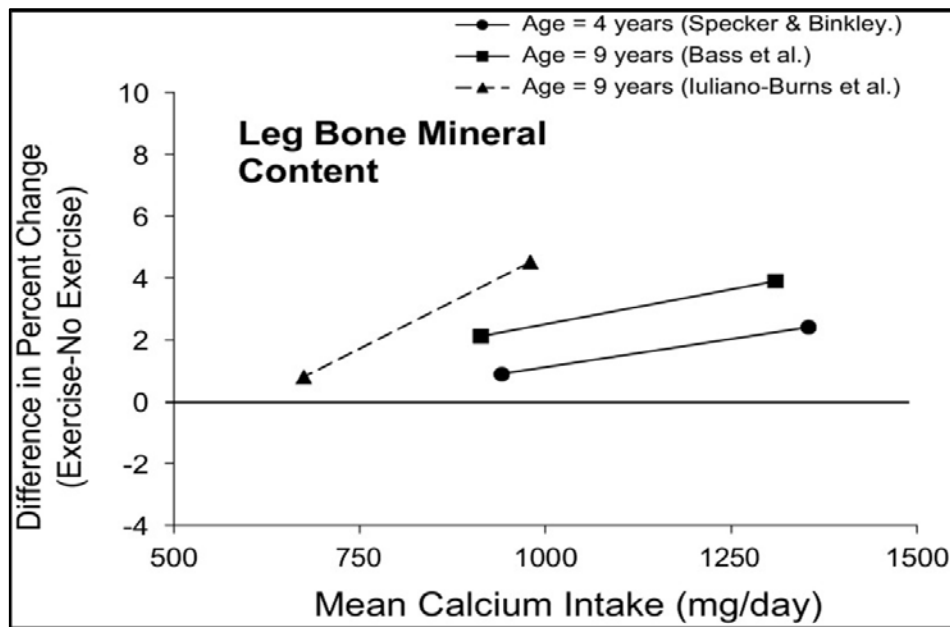


Figure 11 : Les différences moyennes en pourcentage de changement entre les groupes avec et sans exercice pour le contenu minéral osseux des jambes sont indiquées, la ligne en pointillés reliant l'effet de l'exercice dans les groupes calcium et placebo de la même étude. Dans les trois études, les différences, entre les groupes étaient plus importantes lorsque les apports en calcium étaient plus élevés (toutes les interactions entre l'exercice et le calcium étaient significatives à  $p < 0,05$ ). (Specker. 2015)

### 1.3.3.3. Les protéines

La croissance osseuse est favorisée par l'augmentation de l'IGF-1 stimulé par un bon apport protéique (Rizzoli et coll. 2008). Parallèlement, cette hormone est corrélée positivement aux apports en protéines (Breen et coll. 2011). Les apports protéiques influencent positivement la croissance osseuse et l'acquisition de la masse osseuse (Bonjour et coll. 2001). Ce macronutriment est indispensable pour la construction de la matrice osseuse (Rizzoli et coll. 2010). En plus, il peut moduler le potentiel génétique du pic de masse osseuse. La majorité des études transversales et prospectives montre une relation positive entre les apports protéiques, la masse osseuse (Weaver et coll. 2016) et la DMO (Chevalley et coll. 2008). Certaines études ont démontré les effets bénéfiques des apports protéiques sur le CMO, la DMO et les propriétés géométriques des os (Remer et coll. 2014 ; Rizzoli et coll. 2010). En plus, une étude a montré que le niveau de perte osseuse en période de vieillissement est inversement corrélé aux apports protéiques (Hannan et coll. 2000).

#### 1.3.3.4 La vitamine D

La vitamine D joue un rôle important dans le métabolisme osseux et donc la santé squelettique. Elle stimule l'absorption intestinale du calcium et contribue à l'homéostasie phosphocalcique. Les effets physiologiques de la vitamine D sur le tissu osseux sont bien prouvés (Coxam et coll. 2013). Une méta-analyse et une revue systématique, publiées respectivement en 2007 et 2016, ont montré qu'un surplus en vitamine D était bénéfique pour la masse osseuse (Tang et coll. 2007 ; Weaver et al. 2016). En parallèle, un supplément calcique affirme un effet adéquat sur l'acquisition du PMO. Ce supplément est efficace sur la taille et le volume des pièces osseuses avant le début de la phase de croissance rapide du squelette, son effet est plus prononcé sur l'os périphérique, où l'os cortical est prédominant, que sur la colonne vertébrale.

Tableau 1 : Consommation quotidienne en vitamine D

<b>Age</b>	<b>Dose quotidienne pour la santé osseuse</b>
1-3	5.2 microgramme/jour
4-10	2.6 microgramme/jour
11-17	2.9 microgramme/jour
18-79	3.1 microgramme/jour

Ce supplément doit être maintenu jusqu'à l'âge adulte, c'est-à-dire jusqu'à ce que la masse osseuse maximale soit établie. Des valeurs supérieures à 30 mg/ml sont censées prévenir les fractures (Cauley et al, 2008).

Les résultats d'une étude transversale et prospective démontrent les effets bénéfiques de la vitamine D sur la croissance osseuse en phase de croissance rapide.

Ceci est en accord avec l'augmentation du taux de calcitriol (1,25 dihydroxyvitamine D) au début de la puberté, à l'origine de l'augmentation parallèle des besoins en vitamine D. Par contre, des concentrations faibles en vitamine D peuvent diminuer la croissance osseuse et la minéralisation osseuse et donc augmenter le risque d'avoir une faible masse osseuse (Rizzoli et coll. 2010).

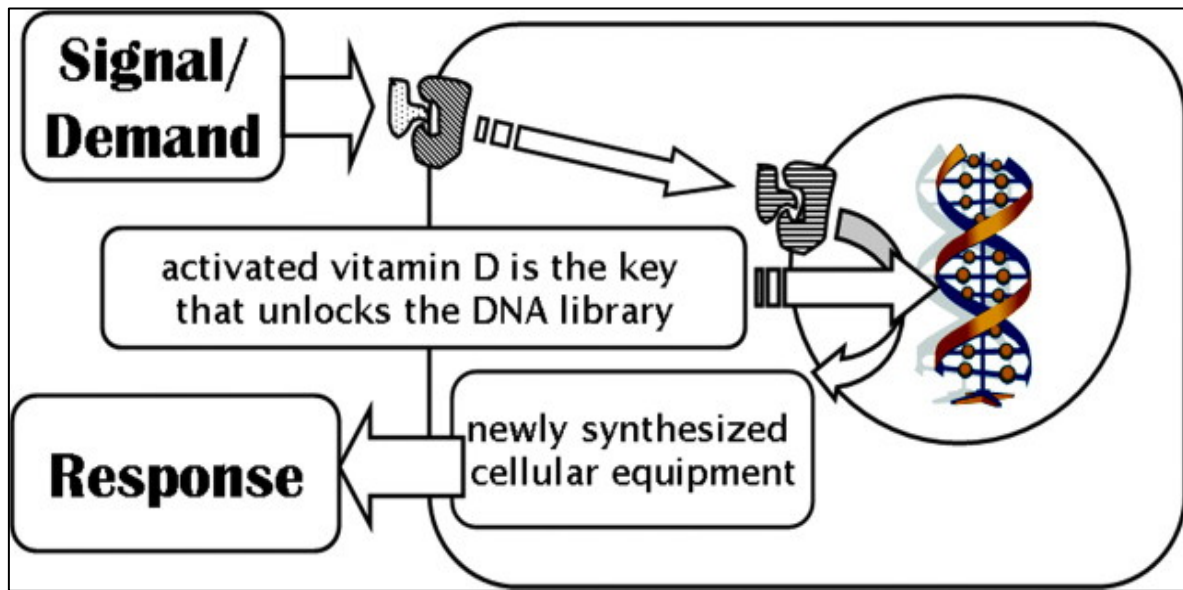


Figure 12 : Diagramme du rôle clé que joue le calcitriol, synthétisé au sein de la cellule concernée, dans les réponses cellulaires nécessitant l'expression des gènes. (Heaney, 2008)

Un taux sérique normal de vitamine D, associé à une pratique physique régulière, contribuent à une meilleure acquisition osseuse chez les sujets en cours de croissance, même après ajustement de la masse maigre (Lehtonen-Veromaa et coll. 2002). En revanche, des taux sériques faibles en vitamine D peuvent être associés à plusieurs maladies métaboliques et cardiovasculaires (Grineva et coll. 2013). Sa déficience peut être un facteur de risque d'ostéoporose. L'insuffisance en vitamine D induit une diminution de l'absorption calcique, une perte osseuse, une faiblesse musculaire et une faible microstructure osseuse (Cashman, 2007).

#### 1.3.4 L'activité physique

La masse osseuse s'adapte aux contraintes mécaniques appliquées. L'interaction entre le tissu osseux et son environnement est expliquée par la loi de Wolff : l'os se forme et se résorbe en fonction des contraintes mécaniques qu'il subit (Teichtahl et coll. 2015). En fait, comme le muscle, l'os réagit aux stimulations mécaniques. De même, la théorie du Mécanostat de Frost en 2000 montre que les os répondent aux variations de stimuli mécaniques par une activité de remodelage adéquate pour obtenir une structure et une masse adaptées à leur fonction (Tyrovola 2016).

La déformation des os longs résulte de l'activité musculaire qui est la source primaire des contraintes mécaniques. Plusieurs études ont montré que la diminution et l'augmentation de la masse musculaire précèdent respectivement celle de la masse osseuse (Rosa et coll. 2015). La méchanosensation et la transduction des ostéocytes sont responsables - via plusieurs facteurs - de la formation osseuse comme réponse au stimulus mécanique (Robling et coll. 2006). Ces cellules réagissent à la déformation de l'os et/ou aux conséquences de celle-ci. Les études suggèrent que la tension directe sur les ostéocytes et l'écoulement du liquide interstitiel sont les stimuli primordiaux de la méchanosensation (Klein-Nulend et coll. 2013).

La charge mécanique cause une déformation de la matrice minéralisée dans laquelle les ostéocytes sont logés. Ils réagissent alors en déclenchant une réponse ostéogénique adaptative. Parallèlement, la charge cause une pression sur le liquide qui entoure ces cellules et qui commence à s'écouler vers les canaux de Havers et Volkman. Dans cette situation, l'os ressemble à une éponge mouillée de laquelle l'eau est chassée sous l'effet d'une compression (Rosa et coll. 2015) qui peut atteindre 11 Pascals (Verbruggen et coll. 2015). Les ostéocytes transforment ces stimuli mécaniques en une réponse chimique déclenchant le processus du remodelage osseux. Un des facteurs impliqués est la sclérostine. Cette molécule possède des effets négatifs sur la masse osseuse. Les contraintes mécaniques réduisent significativement le taux de la sclérostine dans le réseau canaliculaire et au niveau des ostéocytes (Robling et coll. 2006).

L'activité physique constitue une source de contraintes mécaniques liées au poids du corps et aux contractions musculaires. Elle peut générer des forces 10 fois plus importantes que le poids du corps (Guadalupe-Grau et coll. 2009). L'exercice physique provoque des modifications métaboliques osseuses positives ; il stimule directement l'anabolisme tissulaire via la sécrétion de certaines hormones et il peut faire diminuer la masse grasse et ainsi limiter ses effets néfastes sur les os

(Lombardi et coll. 2016). L'activité physique possède la capacité d'augmenter le pic de masse osseuse chez les adolescents et les adultes d'une part et prévenir et/ou diminuer sa perte chez les sujets âgés d'autre part (Guadalupe-Grau et coll. 2009).

L'effet positif de l'activité physique sur le tissu osseux est bien établi par des études transversales et longitudinales et dépend du sexe et du degré de maturité (Petit et coll. 2002) ; Specker et Binkley, 2003). Le NOF (National Foundation of Osteoporosis) a signalé l'effet positif de l'activité physique respectivement sur la masse et la structure osseuse (Weaver et coll. 2016). La réponse ostéogénique a lieu quand la charge est dynamique, d'intensité modérée à élevée (qui dépasse l'intensité habituelle). Les contraintes musculaires doivent être de courte durée, rapides et non répétitives (Turner et Robling, 2003).

La réponse ostéogénique dépend du site squelettique et de l'âge. Elle est plus élevée avant la maturation et au niveau des os porteurs (Bonjour et coll. 2009). Les enfants inactifs ont alors besoin de charges moins importantes que celles des enfants actifs pour initier l'activité ostéogénique (Turner et Robling, 2003).

L'exercice peut affecter l'os par de multiples mécanismes, notamment : les forces de contraction musculaire, la charge gravitationnelle et les effets endocriniens/paracriniens. Pendant l'activité physique, l'os est soumis à des forces mécaniques exercées par la contraction musculaire et la charge gravitationnelle. Au niveau cellulaire, les cellules osseuses (ostéocytes) perçoivent ces forces mécaniques sous forme de déformation cellulaire, de modifications de la contrainte de cisaillement du fluide extracellulaire, de gradients de pression et de champs électriques. (Robling et coll. 2006). Les ostéocytes communiquent avec les ostéoblastes et les ostéoclastes pour moduler la formation et la résorption osseuses, modifiant ainsi la géométrie et les propriétés matérielles de l'os (Turner et Robling, 2005).

### 1.3.5 Le poids

Le poids corporel ainsi que l'IMC sont des déterminants positifs de la DMO dans les deux sexes surtout au niveau des os porteurs (Reid, 2010). Les coefficients de corrélation ( $r$ ) entre le poids et la DMO sont de l'ordre de 0,3 à 0,6. Une élévation de la masse corporelle est associée à une

élévation des valeurs de la DMO, alors que sa perte est la conséquence d'une diminution de ses valeurs (Shapses et Sukumar, 2012).

### 1.3.6 Autres facteurs

#### 1.3.6.1 Le sommeil

Le manque de sommeil affecte négativement la fonction endocrine des organes, le métabolisme, le système cardio vasculaire, le système immunitaire, les os et la cognition (Wright et coll. 2015). La privation chronique de sommeil est associée à une élévation des marqueurs inflammatoires (Miller et Cappuccio, 2007). De même, elle augmente le taux de cortisol (Wong et coll. 2005). La fragmentation du sommeil perturbe la sécrétion de la testostérone, de la PTH et de la GH (Nieminen et coll. 2002 ; Zhang et coll. 2010). En plus, la privation chronique de sommeil est responsable d'un faible taux de vitamine D (Evatt, 2015). Plusieurs études transversales ont démontré que l'insomnie a un effet néfaste sur la masse osseuse (Fu et coll. 2011 ; Zakhem et coll. 2015). Chez les femmes et les personnes âgées, cette privation augmente le risque d'ostéoporose. De même, elle affecte négativement le pic de masse osseuse chez les adolescents et les adultes surtout durant la période du développement de ce tissu (Zakhem et coll. 2015).

#### 1.3.6.2 Les polluants organiques

Les études menées sur des animaux indiquent que les polluants organiques troublent le métabolisme osseux et fragilisent le tissu osseux (Miettinen et coll. 2005). Chez l'homme, une exposition à une dose élevée de certains polluants organiques provoque l'apparition d'une calcification irrégulière et une augmentation du risque d'ostéoporose. Certains polluants organiques influencent négativement la sécrétion des œstrogènes, ce qui affecte la minéralisation osseuse (Cho et coll. 2011). La masse grasse excessive stocke les polluants organiques et empêche leur action néfaste sur l'os. Selon cette logique, ces auteurs ont montré des corrélations négatives entre les polluants



organiques et la DMO chez les femmes post-ménopausées qui ont une faible masse grasse (Cho et coll. 2011).

### 1.3.6.3 La prise médicamenteuse

Les glucocorticoïdes sont connus pour avoir des effets néfastes sur le tissu osseux. Même à petites doses, 30 à 50 % des patients recevant des glucocorticoïdes développent une fracture (Canalis et coll. 2007 ; Steinbuch et coll. 2004). Ces médicaments stimulent les ostéoclastes et prolongent leur durée de vie surtout dans les os trabéculaires. Ils induisent l'apoptose des ostéocytes et donc la survenue de fracture, même avant une diminution de la DMO. Parallèlement, ces drogues inhibent le recrutement des précurseurs des ostéoblastes ralentissant ainsi la formation osseuse (Canalis et coll. 2007). En plus, ils perturbent l'absorption du calcium et la sécrétion de plusieurs hormones comme la GH, les stéroïdes sexuels et la PTH (Panday et coll. 2014). Enfin Ils causent une faiblesse musculaire et augmentent par conséquent le risque de chute (Canalis et coll. 2007).

## **2. Obésité et paramètres de santé osseuse**

### 2.1 Obésité et résistance osseuse

#### 2.1.1 Obésité et CMO/DMO

L'obésité est associée à une augmentation des valeurs de CMO et de DMO dans les deux sexes (El Hage et coll. 2013). Cet effet est plus marqué au niveau des os porteurs comme la hanche et le rachis lombaire du fait des contraintes mécaniques (El Khoury et coll. 2017). L'obésité agit aussi au niveau cellulaire en diminuant l'activité des ostéoclastes et le remodelage osseux (Gkastaris et coll. 2020).

Les ostéocytes sont particulièrement sensibles aux contraintes mécaniques induites par l'excès de poids (Fintini et coll, 2020). Dans ce cas, la sécrétion de la sclérostine est réduite affectant positivement la réponse osseuse (Rinonapoli et coll. 2021).

### 2.1.2 Obésité et paramètres géométriques de Beck

Plusieurs études antécédentes ont démontré que la CSA, le CSMI, le Z et l'épaisseur corticale sont supérieures chez les adolescents obèses et en surpoids par rapport aux enfants normo-pondérés (Berro et coll. 2019 ; Alwan et coll. 2018).

### 2.1.3 Obésité et score de l'os trabéculaire

Plusieurs études ont indiqué que les valeurs de TBS sont inférieures chez les sujets obèses par rapport aux sujets normo-pondérés suggérant que la qualité osseuse est détériorée chez les sujets obèses (Rinonapoli et coll. 2021).

Le rapport DMO lombaire/IMC est aussi inférieur chez les sujets obèses par rapport aux sujets normo-pondérés (Eller-Vainicher et coll. 2019)

### 2.1.4 Obésité et indices de résistance osseuse du col fémoral

L'obésité et le surpoids sont associés à de faibles valeurs de CSI, de BSI et d'ISI comme démontré par plusieurs études sur plusieurs populations (El Hage et coll. 2014).

### 2.1.5 Obésité et DMO/taille

Les rapports DMO/taille et CMO/taille sont augmentés chez les sujets obèses et en surpoids. Cet effet est plus marqué chez les femmes ménopausées obèses du fait de plusieurs mécanismes (Reid et coll. 1992).

## 2.2 Obésité et risque fracturaire

La relation entre l'obésité et le risque de fracture est complexe et dépend du site osseux étudié et du sexe de la population (Figure 13). Dans l'algorithme FRAX, un IMC élevé est associé à une diminution du risque de fracture (Chaplais et coll. 2020 ; Zouhal et coll.2022 ; Fassio et coll.2018).

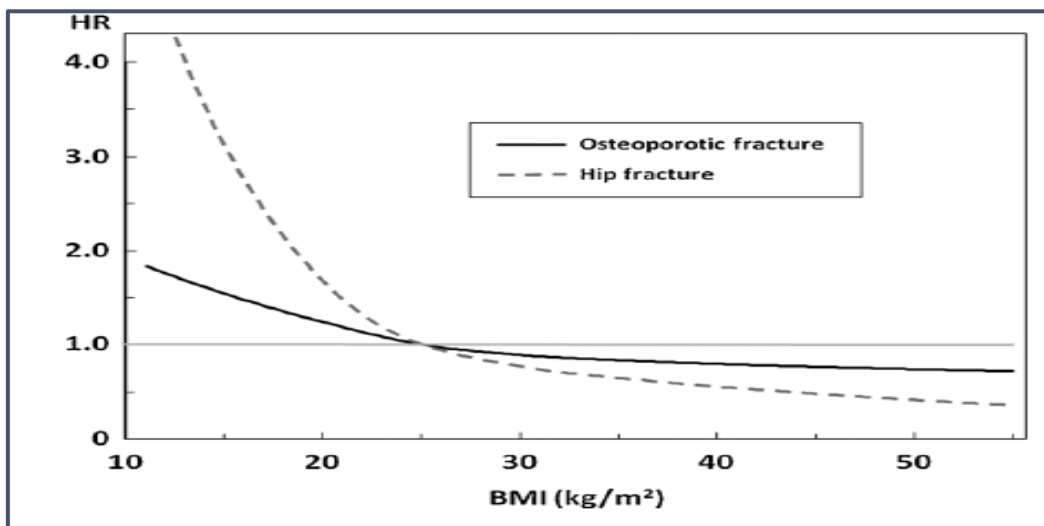


Figure 13 : Relation entre l'IMC et le risque de fracture (Johansson et coll. 2014)

Chez les sujets obèses, Le risque de fracture de la hanche est faible alors que ce risque est élevé au niveau de l'humérus et de la cheville (Maïmoun et coll. 2016). L'obésité augmente aussi le risque de chutes (Fintini et coll. 2020 ; Gkastaris et coll. 2020). Les mécanismes sous-jacents ont été bien décrits (Gkastaris et coll. 2020). En effet, l'obésité augmente la survenue de plusieurs maladies et désordres qui altèrent l'équilibre et augmentent le risque de chutes (Rinonapoli et coll. 2021). Les causes qui augmentent les risques de chutes chez les sujets obèses comprennent l'instabilité posturale, une activité physique faible... surtout au niveau de la hanche et de la cheville (Figure 14).

<b>RISK OF FALLING IN THE OBESE SUBJECT</b>	
<b>CAUSES FOR INCREASED RISK</b>	<b>HYPOTHESES FOR PARADOXICAL FRACTURE SITE DISTRIBUTION</b>
↓ agility	Hip padding (protective)
Postural instability	Backward or sideward falling
Poor physical activity → ↓ strength and agility	Intorsion and extorsion of the ankle and lower leg → Sprains and fractures of the ankle
Fatty infiltration of the muscles → Dynapenic obesity	
Comorbidities → Neurological impairment	
Osteoarthritis → Difficult walk	

Figure 14 : Risques de chutes chez les sujets obèses (Rinonapoli et coll. 2021)

### 2.3 Mécanismes en faveur d'un effet positif de l'obésité sur les paramètres de santé osseuse

L'obésité augmente les contraintes mécaniques sur les os porteurs (Chaplais et coll. 2020). L'obésité est souvent associée à une augmentation de la masse maigre conduisant ainsi à une augmentation de la DMO dans la plupart des cas (Rosen et coll. 2006). La perte de poids lors de la réalisation des régimes amaigrissants est associée à une perte de CMO/DMO (Fintini et coll. 2020). Un régime hypercalorique est souvent associé à une augmentation de la formation osseuse alors que le jeûne augmente la résorption osseuse (Maïmoun et coll. 2016).

L'insuline et la leptine sont augmentées chez les sujets obèses (Figure 15); ces deux hormones augmentent la formation osseuse in vitro (Gerbaix et coll. 2012 ; Fintini et coll. 2020). Les taux d'œstrogènes se trouvent aussi augmentés chez les femmes obèses notamment après la ménopause expliquant ainsi la moindre perte osseuse avec l'avance en âge chez les femmes ménopausées obèses (Fassio et coll. 2013). L'IGF-1 et les stéroïdes sexuels libres sont aussi augmentés chez les enfants obèses (Rinonapoli et coll. 2021).

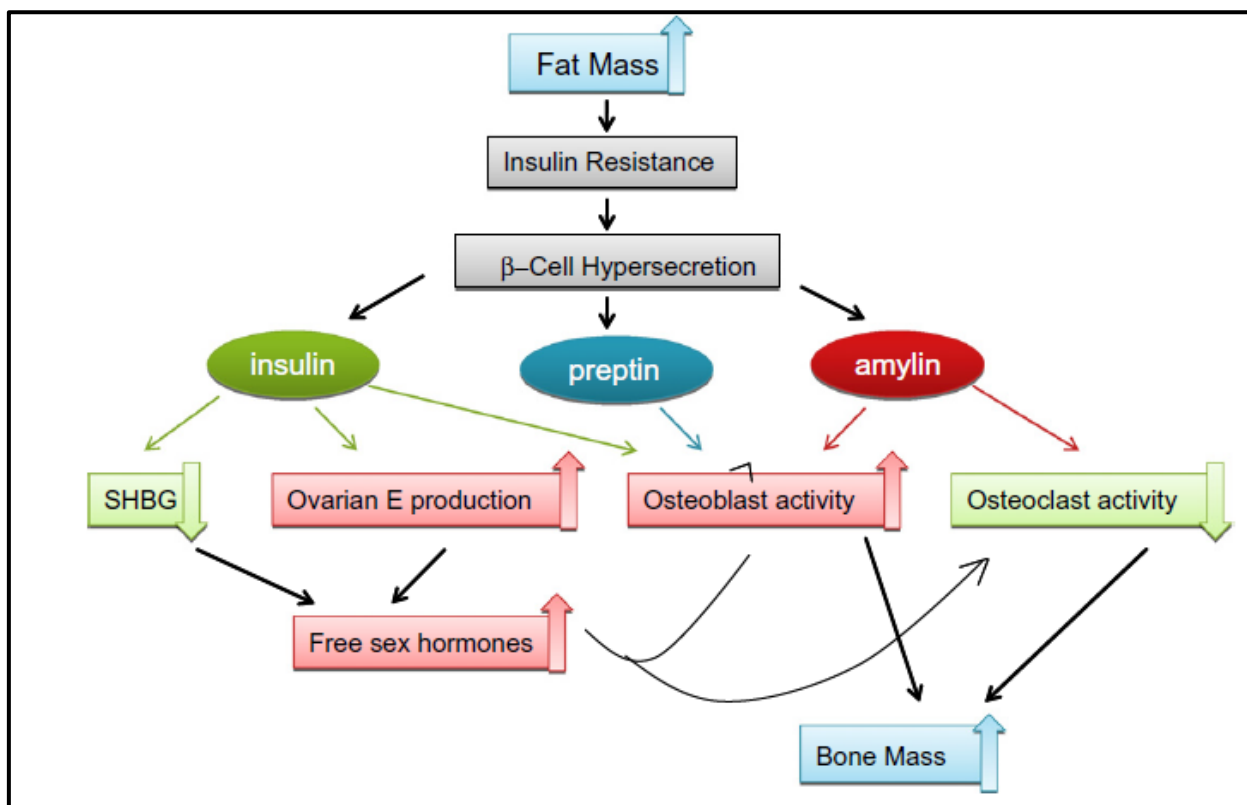


Figure 15 : Mécanismes d'action de l'hyperinsulinémie sur la masse osseuse chez les femmes post-ménopausées (Reid, 2010)

Une étude menée chez l'animal a indiqué que la masse grasse stocke les polluants organiques empêchant ainsi leurs effets néfastes sur le tissu osseux (Gerbaix et coll. 2012). Enfin, lors des chutes, l'augmentation de la masse grasse autour de la hanche permet un meilleur amortissement des chocs (Fassio et coll. 2013). Rosen et Bouxsein (2006) ont résumé les effets positifs et négatifs de l'augmentation de la masse grasse sur les paramètres osseux (Figure 16).

For (obesity protective)	Against (obesity detrimental)
Increased loading on the cortical skeleton	Inflammatory cytokines impair bone formation
Increased protection against falls and fractures	Fatty acids stimulate resorption
Leptin directly stimulates bone formation	Leptin inhibits bone formation via sympathetic system
Greater aromatase activity increases estradiol, which would lead to: decreased bone resorption due to inhibition of RANKL ?stimulation of bone formation ?decreased sympathetic tone	Hyperglycemia impairs bone formation
	Insulinopenia impairs bone formation
	PPAR $\gamma$ activation, which would lead to: inhibition of bone formation stimulation of resorption

Figure 16 : Mécanismes en faveur d'un effet positif de la masse grasse sur la santé osseuse (Rosen et Bouxsein, 2006)

#### 2.4 Mécanismes en faveur d'un effet négatif de l'obésité sur les paramètres de santé osseuse

Les sujets obèses ont généralement un régime alimentaire pauvre en calcium et riche en glucides rapides et en acides gras saturés (Gerbaix et coll.2012). De plus, les taux de vitamine D sanguins sont généralement abaissées chez les sujets obèses ; ceci augmente les taux de parathormone (Rinonapoli et coll. 2021).

Un régime riche en acides gras saturés augmente la résorption osseuse (Figure 17) et l'inflammation (Fintini et coll. 2020). L'obésité est associée à une augmentation des cytokines inflammatoires augmentant la résorption osseuse (Rinonapoli et coll. 2021).

Cell types	SFAs	Omega 3 PUFAs	Omega-6 PUFAS
Osteoblasts	Increase inflammation (150) Decrease osteoblastogenesis Excess of SFAs have lipotoxic effects (151, 152)	Decrease inflammation (150) Promote osteoblastogenesis (151, 152)	Increase inflammation (150) Decrease osteoblastogenesis (151, 152)
Osteoclasts	Promote osteoclastogenesis? (153, 154)	Increase BMD (155-157) Inhibit bone resorption and osteoclastogenesis (158, 159)	Promote osteoclastogenesis? (159-161)

*BMD, bone mineral density; PUFAs, polyunsaturated fatty acids; SFAs, saturated fatty acids.*

Figure 17 : Effets négatifs de la consommation des acides gras saturés sur le métabolisme osseux (Fintini et coll. 2020)

D'autre part, la qualité de sommeil est altérée chez les sujets obèses. La qualité de sommeil influence positivement la DMO (Zakhem et coll. 2014). L'augmentation de la masse grasse viscérale, en particulier chez l'homme, est associée à une diminution de la GH et des hormones sexuelles induisant ainsi un effet néfaste sur la DMO (Fintini et coll. 2020). L'augmentation de la masse grasse intramédullaire est un élément qui influence négativement la DMO et la microarchitecture trabéculaire chez les sujets obèses (Fintini et coll. 2020). Cette augmentation peut négativement impacter la différenciation des ostéoblastes comme le montre la figure suivante. Le faible niveau d'activité physique chez les sujets obèses influence la qualité osseuse via la voie OPG/RANKL (Fintini et coll. 2020). L'infiltration graisseuse de la masse musculaire chez les sujets obèses affecte négativement la masse osseuse.

Ce dernier cas est particulièrement présent chez les sujets ayant une obésité sarcopénique (Rinonapoli et coll. 2021). En effet, l'obésité sarcopénique augmente le risque de fractures (Rinonapoli et coll. 2021 ; Gkastaris et coll. 2020). Au niveau cellulaire, l'augmentation de la production des cytokines musculaires comme la myostatine influence négativement la formation osseuse (Goisser et coll.2015 ; Chen et coll. 2017 ; Rinonapoli et coll. 2021).

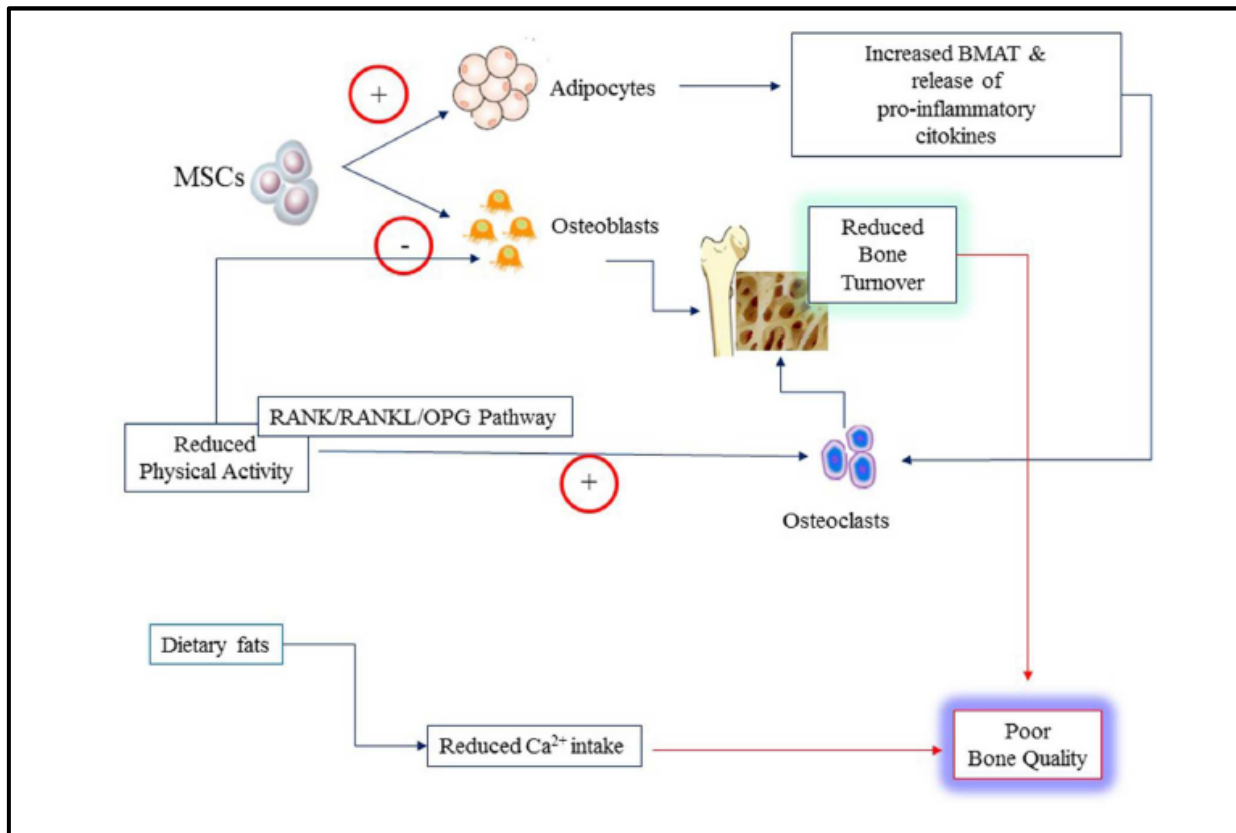


Figure 18 : Éléments en faveur d'une qualité osseuse réduite chez les sujets obèses (Fintini et coll. 2020)

Le remodelage osseux est réduit chez les sujets obèses ; ceci a été démontré par plusieurs études. Ceci semble négativement influencer la qualité osseuse (Fintini et coll. 2020). La figure 19 suivante montre les mécanismes par lesquels l'obésité influence la qualité osseuse (Fintini et coll. 2020).



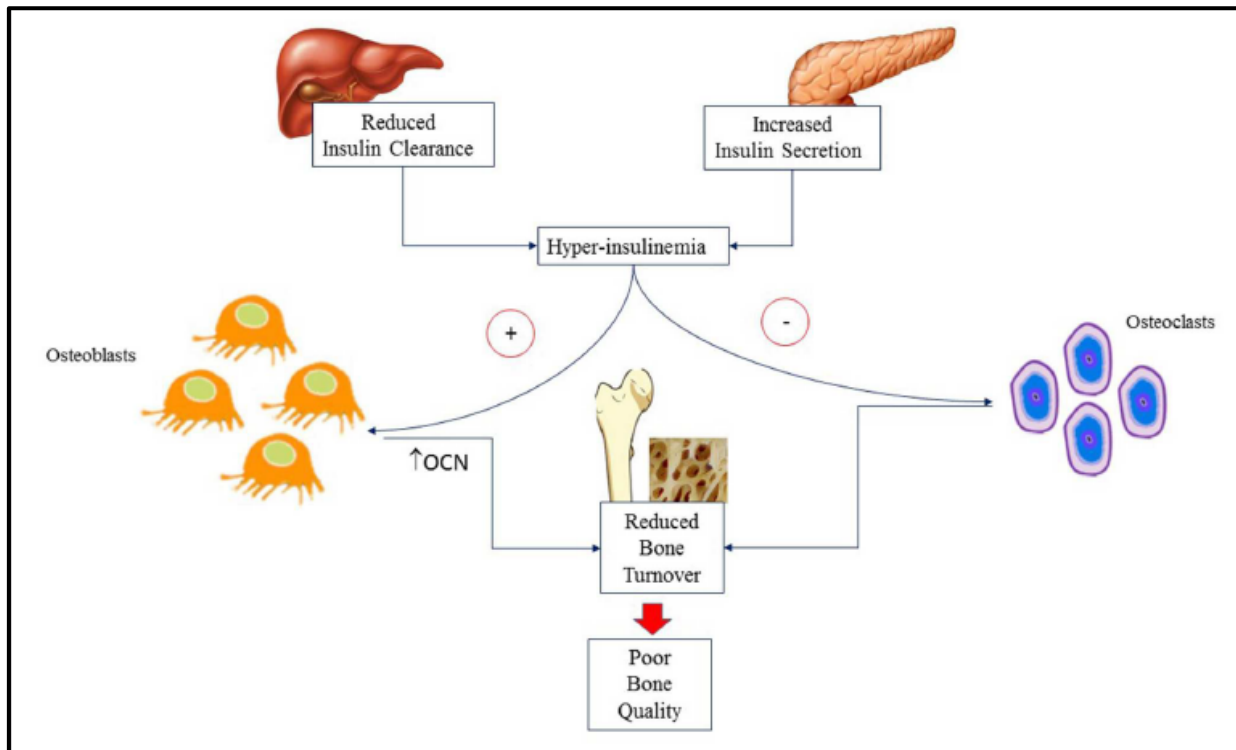


Figure 19 : Altération du remodelage osseux et de la qualité osseuse chez les sujets obèses (Fintini et coll. 2020)

## 2.5 Interactions entre l'hypothalamus, l'os et le tissu adipeux

La leptine agit sur les ostéoblastes et les ostéoclastes via l'hypothalamus. Le cortisol a des effets directs sur le tissu osseux (Savvidis et coll. 2018). L'inflammation affecte le tissu osseux via la TNF- $\alpha$  (Savvidis et coll. 2018). L'insuline augmente la prolifération des ostéoblastes et la production d'ostéocalcine qui régule aussi le métabolisme glucidique (Savvidis et coll. 2018). La figure 20 suivante résume les interactions entre l'hypothalamus, l'os et le tissu adipeux (Savvidis et coll. 2018).

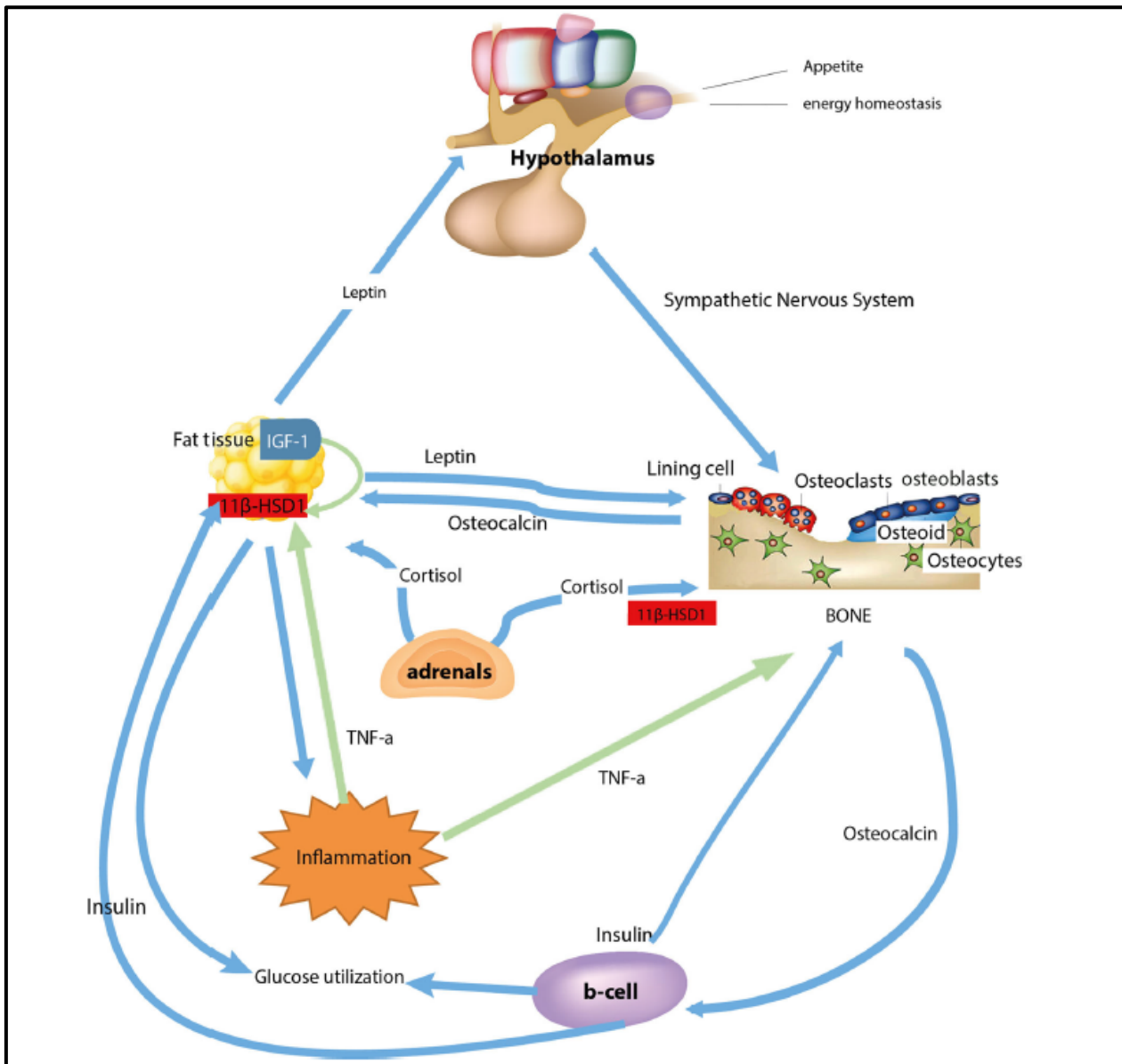


Figure 20 : Résumé sur les interactions entre l'hypothalamus, l'os et le tissu adipeux (Savvidis et coll. 2018)

En conclusion de ce chapitre, la relation entre l'obésité et le métabolisme osseux est très complexe et inclut plusieurs facteurs. Les contraintes mécaniques associées à l'excès de poids exercent un effet positif sur la santé osseuse. Cependant, l'augmentation des cytokines inflammatoires associée à l'obésité a des effets négatifs sur la masse osseuse. La perte de poids est indispensable chez les sujets obèses mais s'accompagne d'une perte de DMO. L'addition des exercices physiques à impacts est utile pour limiter les pertes osseuses rencontrées durant les périodes de perte de poids chez les sujets obèses.

### **3. Influence du type d'activité physique**

La pratique d'une activité physique à fortes contraintes biomécaniques est associée à une augmentation de la DMO au niveau des sites osseux soumis à ces contraintes (Tenforde et coll., 2011). Plusieurs études transversales ont montré que la pratique régulière de sports d'équipe, de musculation et d'haltérophilie est associée à une augmentation de la DMO dans la colonne lombaire et les hanches (Egan et coll. 2006 ; Tenforde et coll. 2011). La pratique des sports de raquette a également été associée à une augmentation de la DMO dans le bras dominant, mais également dans les zones sollicitées tels que le rachis lombaire et les hanches (Egan et coll. 2006 ; Tenforde et coll. 2011). En revanche, nager sous de faibles contraintes biomécaniques ne semble pas avoir d'effet bénéfique sur la DMO (Gomez-Bruton et coll., 2016). La pratique sportive chez les enfants pré-pubères et en début de puberté est associée à une augmentation de la taille des os (Mackelvie et coll. 2004 ; Petit et coll. 2002).

#### **3.1 Réponse ostéogénique aux contraintes mécaniques**

La pratique de plusieurs activités sportives doit être encouragée à un âge précoce et se prolonger toute la vie pour maximiser et maintenir le capital osseux. La spécialisation précoce des jeunes sportifs doit faire l'objet d'une attention particulière spécialement dans les sports qui allient un entraînement de haute intensité (>20 h par semaine) avec une limitation des apports caloriques abusive. L'activité physique, lorsqu'elle impose des contraintes mécaniques à l'os, agit positivement sur la minéralisation osseuse au cours de la croissance.

Les années de l'adolescence sont les dernières opportunités pour augmenter la masse osseuse. Cependant, la planification des programmes d'entraînement physiques doit respecter quelques règles pour produire cet effet ostéogénique (Kohrt et coll. 2004).

Les mécanismes par lesquels les contraintes agissent sur le tissu osseux sont nombreux et complexes. Certains restent difficiles à expliquer, et leur interaction avec les mécanismes hormonaux reste à élucider. Cependant, ceux-ci permettent de comprendre les effets sur les os de diverses contraintes liées à l'activité physique.

### 3.1.1 Principes de l'American College of Sports Medicine

#### 3.1.1.1 La spécificité

Ce principe concerne le type d'entraînement qui doit être spécifique au sport choisi. Il faut entraîner l'habileté, l'agilité, l'équilibre ou l'endurance musculaire. Il faut également tester les composantes qui sont importantes dans le sport pour voir les forces et les faiblesses, par exemple les déséquilibres, la vitesse, la puissance, la posture, etc. Ce principe indique les éléments-clés du conditionnement afin d'améliorer les performances. Seuls les sites osseux sollicités par des contraintes mécaniques variées subissent une adaptation osseuse positive.

#### 3.1.1.2 La surcharge :

Afin de progresser et d'améliorer la condition physique, il faut soumettre le corps à des contraintes supplémentaires aux contraintes au niveau des sites osseux sur lesquels les forces s'appliquent. Une réponse ostéogénique a lieu seulement si le stimulus de la charge dépasse le niveau des contraintes habituelles. Cette réponse exige qu'on augmente la charge de façon progressive.

L'application de ce principe d'entraînement favorise des adaptations à long terme, permettant au corps de travailler plus efficacement pour faire face à un niveau de performance plus élevé lors du prochain entraînement. La réponse ostéogénique peut être obtenue en suivant l'acronyme FITT : en augmentant de manière progressive la Fréquence, l'Intensité, le Temps et le Type d'entraînement.

#### 3.1.1.3 La réversibilité

Les effets positifs de la pratique sportive sur la DMO ne persistent pas si cette pratique est interrompue ou réduite de manière significative. Le volume et l'intensité de la pratique sportive qui permet le maintien de la DMO restent à déterminer. Le principe de réversibilité se traduit ainsi : c'est la perte du bénéfice osseux si l'entraînement n'est

pas entretenu ou arrêté. Il faut cependant faire attention au surentraînement, qui est un problème très courant dans le programme d'entraînement, lorsqu'il n'y a pas suffisamment de temps de repos lorsque les séances d'entraînement sont trop intenses au point d'avoir des effets négatifs sur les résultats et les progrès.

#### 3.1.1.4 Le capital de départ

De manière générale, plus la DMO de base d'un sujet est élevée, plus le bénéfice susceptible d'être atteint avec un entraînement physique est faible. Parallèlement, plus la DMO de base d'un sujet est basse, plus le bénéfice susceptible d'être atteint avec un entraînement physique est élevé.

#### 3.1.1.5 L'entraînabilité

La DMO maximale qui peut être atteinte est influencée par des facteurs génétiques et varie beaucoup selon les sujets. Cette valeur, qui représente la capacité à pouvoir être entraîné afin d'atteindre le plafond, détermine les progrès potentiels de chaque individu.

### 3.1.2 Principe de Burr

Burr et coll. (2002) ont émis trois règles générales qui concernent l'adaptation ostéogénique à l'entraînement physique :

- Les contraintes dynamiques engendrent une réponse osseuse positive contrairement aux contraintes statiques. En effet, les contraintes statiques n'engendrent pas une réponse osseuse positive et peuvent même inhiber la croissance osseuse oppositionnelle.

- La relation entre la durée de l'application des contraintes mécaniques et la réponse ostéogénique n'est pas linéaire. Le prolongement excessif de cette durée peut parfois diminuer la réponse ostéogénique. La récupération entre les exercices (quelques minutes) ou entre deux entraînements (4 à 8 heures) optimise les réponses osseuses.
- Le tissu osseux s'habitue rapidement au type et à l'intensité des exercices. Globalement, la réponse osseuse est meilleure après un exercice à contraintes biomécaniques élevées, mais ayant une courte durée, qu'après un exercice à contraintes biomécaniques faibles, mais ayant une durée élevée. En pratique, afin d'éviter une stagnation de la réponse osseuse, il est primordial de modifier le type des exercices et d'augmenter le niveau des contraintes mécaniques dans les entraînements effectués.

### 3.1.3 Applications pratiques dans la planification de l'entraînement physique chez les adultes

L'objectif principal de l'activité physique chez les adultes est d'augmenter ou de maintenir la masse osseuse. Les augmentations sont rapportées en réponse à des exercices d'endurance avec support du poids ou de musculation à une intensité relativement élevée. Les études contrôlées et randomisées, explorant l'efficacité de l'exercice à augmenter ou du moins à maintenir la DMO, suggèrent que la santé des os des adultes soit positivement influencée par le maintien quotidien d'un niveau d'activité physique élevé en charge. Plusieurs auteurs (Beck et coll. 2017 ; Kohrt et coll. 2004 ; Weaver et coll. 2016) ont élaboré des recommandations concernant la nature ostéogénique de l'exercice, fondées sur des données transversales et longitudinales.

### 3.2 Les effets des facteurs mécaniques sur la géométrie osseuse

Les facteurs mécano-biologiques influencent fortement l'ossification du squelette et régulent les changements de la géométrie osseuse et de la densité apparente au cours de l'ontogénèse. Les changements de la géométrie et de la densité de l'os spongieux diaphysaire chez les adultes sont les conséquences du changement des activités physiques. La géométrie de l'os est associée à plusieurs

facteurs qui définissent la charge mécanique sur l'os, indépendamment de l'âge, de la longueur des os, de la maturation, de la race et du sexe.

La surface périostée est plus sensible aux contraintes mécaniques au début de la puberté, alors que l'endosteum est plus sensible aux contraintes mécaniques à la fin de la puberté (Ruff et coll., 1994). En revanche, une diminution de la taille du canal médullaire a été observée chez les joueurs de tennis avant et après la puberté (Bass et coll. 2002). Aussi, en réponse à l'entraînement en gymnastique, des adaptations de la géométrie osseuse ont été observées. (Ward et coll. 2005).

### 3.2.1 Les effets des facteurs mécaniques sur le score de l'os trabéculaire (TBS)

Le TBS est un indice de texture osseuse relativement nouveau, obtenu au niveau du rachis lombaire. Il est récemment apparu comme un paramètre clinique permettant d'évaluer la microarchitecture osseuse et s'avère particulièrement sensible aux altérations glyco-métaboliques (Jackuliak et coll. 2019). Les propriétés mécaniques osseuses sont déterminées par la géométrie osseuse, l'épaisseur corticale et la porosité, la morphologie trabéculaire et les propriétés intrinsèques du tissu osseux. Une complication majeure de l'ostéoporose est la fracture associée à une résistance mécanique réduite. Le TBS chez les femmes qui présentent des fractures après la ménopause est inférieur à celui des femmes sans fracture. Les traitements de l'ostéoporose visant à améliorer les propriétés mécaniques passent par l'amélioration de ces déterminants. Le TBS est associé à plusieurs paramètres microstructuraux et est facilement mesurable en pratique clinique (Bousson et coll. 2015). Il prédit la survenue de fracture chez les femmes après la ménopause. Les jeunes femmes, se livrant à plusieurs types d'activité physique, ont montré que celles qui s'entraînaient avec des poids et sautaient, avaient les valeurs de TBS les plus élevées (Heinio et coll. 2015).

### 3.2.2 Les facteurs corrélables au TBS

Le vieillissement fait décroître la valeur du TBS, la courbe d'évolution du TBS étant proche de celle de la DMO. Chez les femmes adultes, les caractéristiques anthropométriques (poids, taille et IMC) ne sont généralement pas associées au TBS.

Cependant, même si la force de l'association entre ces deux variables squelettiques dépendait du statut pondéral de la population, la DMO était positivement associée au TBS (El Khoury et coll. 2016 ; El Hage et coll. 2014).

### 3.2.3 Les résultats d'une diminution des contraintes

La gravité terrestre a un effet positif sur la densité osseuse et la microarchitecture osseuse. L'immobilisation prolongée (alitement) et l'immobilisation forcée (clinique) sont associées à une baisse de la DMO.

Les effets de l'immobilité des articulations à long terme associés à une réduction des contraintes mécaniques dans les os peuvent entraîner une perte osseuse importante et une altération de la minéralisation osseuse (Vico et coll. 2000)

### 3.2.4 Les effets de l'activité sportive sur le tissu musculaire et osseux

Plusieurs études ont traité les effets de l'AP sur la DMO. Les résultats ont montré que la DMO augmentait suite à la pratique d'exercices physiques. Ce phénomène peut être expliqué par la stimulation ostéogénique induite par les contraintes mécaniques. La pratique en charge d'une AP peut avoir un effet bénéfique sur la DMO au cours de toutes les étapes de la vie. La DMO élevée mise en évidence sur les sites osseux nécessaires à l'activité physique est due à trois facteurs : l'impact, la gravité et la restriction musculaire.

## **4. Réponse ostéogénique à l'exercice physique chez les sujets obèses**

Il existe quelques études ayant étudié l'influence de l'exercice physique sur les paramètres osseux chez les sujets obèses ou en surpoids. Ces études ont été menées chez les enfants, les adolescents et les adultes et ont inclut plusieurs types d'entraînement physique (force, endurance et combiné).



Une étude menée chez les enfants a démontré que la réponse osseuse aux exercices de sauts diminue avec l'augmentation de leur IMC (Mackelvie et coll. 2002). En effet, ce type d'exercices semble être peu efficace pour l'augmentation de la DMO chez les enfants obèses (Mackelvie et coll. 2002). Les exercices de sauts semblent être peu adaptés à cette population particulière.

Une étude menée chez les adolescentes a démontré un effet significatif des activités multidisciplinaires (sports collectifs, endurance, etc...) sur la DMO chez celles obèses (El Hage et coll. 2009). Ce type d'exercice semble être efficace pour augmenter les CMO et DMO régionales et totales. Une étude publiée en 2020 a aussi démontré que l'entraînement en endurance augmente la DMO sous-totale et la DMO lombaire chez les adolescentes obèses (Chaplais et coll. 2020).

Chez les jeunes femmes obèses, l'entraînement en course à pieds ou en force est efficace pour augmenter le CMO total et la DMO lombaire (Berro et coll. 2020). Les améliorations de DMO semblent être plus importantes pour le groupe entraîné en force (Berro et coll. 2020). Ces résultats sont en accord avec ceux retrouvés chez les hommes obèses (El Khoury et coll. 2016).

L'exercice physique est aussi efficace pour préserver la perte osseuse chez les sujets ayant un syndrome métabolique durant un régime hypocalorique (Courteix et coll. 2015).

L'entraînement physique est un élément important dans la stratégie visant à prévenir l'ostéoporose chez plusieurs types de populations y compris les sujets en surpoids et obèses (Fintini et coll. 2020). L'entraînement physique prévient l'accumulation de la masse grasse au niveau musculaire (Fintini et coll. 2020).

Cet entraînement physique réduit aussi la sécrétion des cytokines inflammatoires, augmente le CMO, la masse maigre et stimule le remodelage osseux (Fintini et coll. 2020). L'entraînement physique augmente aussi la sécrétion musculaire d'irisine ; cette myokine a des effets bénéfiques sur la masse osseuse (Fintini et coll. 2020).

A notre connaissance, il n'existe pas d'études ayant exploré l'effet de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez les sujets obèses.

Zouhal et coll. (2022) ont démontré que l'entraînement en endurance ainsi que les résultats de l'analyse combinée ont démontré un effet positif sur la DMO CE (Figure 21) ; cet effet semble être faible.

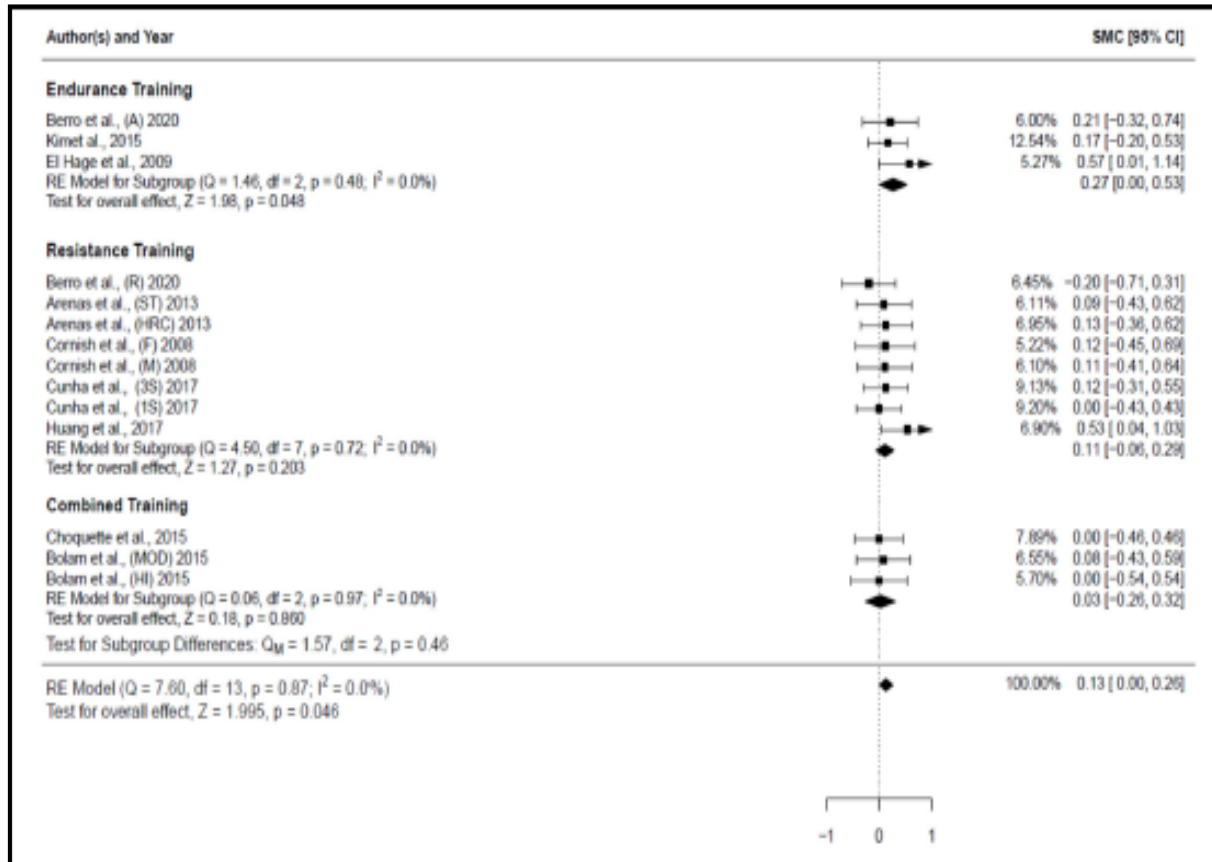


Figure 21 : Résultats de la méta-analyse réalisée par Zouhal et coll. (2022)

Une autre méta-analyse menée chez les enfants et les adolescents a montré que la moitié des études reportait des résultats positifs sur la masse osseuse (Chaplais et coll. 2018). L'analyse combinée n'a pas montré des effets bénéfiques sur la masse osseuse (Chaplais et coll. 2018) (Figure 22) .

	<i>n</i>	Effect size			95% CI		<i>p</i> value	Heterogeneity			
		Min	Max	Mean	Min	Max		<i>I</i> <sup>2</sup>	<i>Q</i>	<i>df</i>	<i>p</i> value
WB BMC	8	-0.457	0.713	0.159	-0.039	0.356	0.116	6.28	7.47	7	0.38
WB BMD	9	-1.000	0.600	-0.031	-0.319	0.258	0.834	37.67	12.84	8	0.12
FM_g	9	-1.074	0.736	-0.369	-0.814	0.076	0.104	82.61	46.00	8	0.00
FM_pct	8	-1.198	-0.017	0.552	-0.820	-0.284	<0.001	37.90	11.27	7	0.13
FFM_g	8	0.014	0.477	0.236	0.033	0.438	0.023	0.00	2.40	7	0.93

*BMC* bone mineral content, *BMD* bone mineral density, *FM* fat mass, *g* grams, *pct* percentage, *FFM* fat free mass

Figure 22 : Résultats de la méta analyse menée par Chaplais et coll. (2018)

En conclusion, la réponse ostéogénique chez les sujets obèses dépend de plusieurs facteurs comme l'âge, le degré d'obésité, la maturité et le type d'exercice physique.

#### 4.1 Réponse ostéogénique à l'entraînement en endurance chez les sujets obèses

L'entraînement en endurance a de nombreux effets bénéfiques sur la santé humaine : la diminution de la masse grasse, l'amélioration des aptitudes aérobies. Il est un outil prescrit pour prévenir, contrôler et, dans certains cas, traiter les conséquences de l'obésité ou réduire le poids corporel (Bensimhon et al. 2006 ; Marwick et al. 2009), maintenir la masse maigre (Brandou et coll. 2005 ; Brun et coll. 2010), prévenir le diabète de type 2 (Kim et coll. 2006 ; Lindström et coll. 2006) et contrôler la glycémie sanguine.

L'entraînement en endurance à faible intensité est le plus utilisé chez les sujets obèses en regard de ses effets bénéfiques sur la mobilisation des graisses corporelles (Duclos et coll. 2010 ; Perri et coll. 2002). L'entraînement à faible intensité (au LIPOXmax) mobilise et oxyde une quantité importante de graisses et peut augmenter la masse maigre. En outre, l'adhésion à un programme d'entraînement en endurance à faible intensité est importante et il semblerait qu'il soit plus aisément supporté qu'un entraînement en endurance à haute intensité (Johnson et coll. 2007).

Parallèlement à ses effets sur le métabolisme et la composition corporelle, plusieurs études ont exploré l'influence de l'entraînement en endurance sur le capital osseux chez les adultes normopondérés (Egan et coll. 2006 ; El Hage et coll. 2014 ; Fredericson et coll. 2007 ; Kemmler et coll. 2006).

D'autres recherches sont menées pour explorer l'effet ostéogénique de l'entraînement en endurance sur les paramètres osseux chez les adultes en surpoids et obèses. Des études observationnelles ont investigué les relations entre les paramètres osseux et les valeurs des tests physiques reflétant la capacité aérobie chez des jeunes sujets en surpoids et obèses. Dans un groupe de jeunes hommes (El Khoury et coll. 2016), la VO<sub>2</sub> max (L/min) était un déterminant positif de la DMO du corps entier ( $r=0.47$ ), de la DMO fémorale ( $r=0.43$ ) et de la DMO du col fémoral ( $r=0.42$ ).

En 2011, Shah et coll. (2011) ont étudié l'effet indépendant et combiné de l'entraînement en endurance et du régime alimentaire sur le capital osseux dans un groupe de sujets obèses et ils ont trouvé que la DMO est augmentée uniquement dans le groupe faisant un entraînement. Le poids corporel a diminué dans les groupes qui suivent un régime alimentaire seul et un régime combiné à l'entraînement en endurance.

Cette étude suggère que l'entraînement en endurance augmente la DMO chez les sujets obèses et diminue les effets néfastes de la perte de poids associée au régime alimentaire. De même, Shehab et coll. (2016) ont constaté que 6 mois d'entraînement aérobie induisent une diminution de l'IMC et une augmentation de la DMO au niveau lombaire et au niveau du radius dans un groupe de sujets obèses asthmatiques.

Ces résultats coïncident avec ceux de l'étude menée par El Hage (2018). Dans cette dernière, les effets des deux programmes d'entraînement (endurance et force) sur un groupe de jeunes hommes en surpoids ont été évalués.

Dans les deux groupes, le poids, l'IMC, la masse grasse et le pourcentage de masse grasse ont diminué, alors que les indices de résistance osseuse du col fémoral étaient augmentés. Dans le groupe s'entraînant en endurance, la DMO L1-L4 a augmenté, mais le CMO du corps entier a diminué. Kim et coll. (2015) ont également montré que l'entraînement en endurance dans un groupe de sujets obèses sains pendant 8 semaines entraîne une réduction significative du poids corporel.

#### 4.2 Réponse ostéogénique à l'entraînement de force chez les sujets obèses

L'entraînement de force et de type impact de haute intensité fournit un puissant stimulus ostéogénique même à un âge avancé (Suominen et coll. 2021). L'entraînement en résistance a un effet important sur le système musculo-squelettique (Winett et Carpinelli, 2001).

Il contribue au maintien des habilités fonctionnelles, à la prévention de la sarcopénie et de l'ostéoporose, à la diminution du risque de chute et de fracture et à l'amélioration de la qualité de vie (Winett et Carpinelli, 2001). Il diminue les facteurs de risques associés au diabète, aux maladies cardiovasculaires et à certains cancers.

En effet, il peut aider à prévenir l'apparition du diabète de type 2 (Yang et al. 2014) et à réduire la pression artérielle et le risque de mortalité chez les sujets atteints du syndrome métabolique (Lemes et coll. 2016). Du fait de son impact positif sur la densité minérale osseuse, il est situé au centre de la planification des programmes d'entraînement physique qui vise à la prévention de l'ostéoporose (Layne et Nelson, 1999).

Ces effets sont démontrés par plusieurs études longitudinales menées chez des jeunes adultes. Ces travaux ont prouvé l'influence positive de ce type d'entraînement sur le pic de masse osseuse. Ils ont montré que ce type d'entraînement induit une amélioration des indices de formation (Lester et coll. 2009) ainsi qu'une augmentation significative des valeurs des paramètres osseux (Mosti et coll. 2014 ; Nickols-Richardson et coll. 2007).

Les données transversales de la littérature observent des relations positives entre la densité minérale osseuse et les performances anaérobiques chez les sujets obèses. Dans un groupe d'hommes jeunes (El Khoury et coll. 2016b) en surpoids et obèses, la force maximale en demi squat était, au moment de l'étude, un déterminant positif de la DMO lombaire ( $r= 0.33$ ). Dans les mêmes conditions, des études longitudinales ont essayé d'explorer les effets de l'entraînement en résistance sur les paramètres osseux et la composition osseuse.

## 5. Les effets de l'entraînement en sprint

### 5.1 Effets de l'entraînement de sprint sur l'os

Les exercices à forte charge, à grande vitesse et avec impact peuvent être un moyen efficace d'améliorer la solidité des os, même à un âge avancé.

Un essai randomisé, contrôlé, d'entraînement de sprint de haute intensité chez des athlètes de sprint, masculins d'âge moyen et plus âgés a montré des améliorations significatives de la structure et de la force du tibia. L'étude révèle la capacité d'adaptation des os vieillissants, suggérant qu'il est possible de renforcer les os au cours du vieillissement grâce à un nouveau stimulus d'entraînement intensif (Suominen et coll. 2017).

Les résultats montrent que l'entraînement régulier au sprint a des effets positifs sur la force et la structure osseuses chez les athlètes d'âge moyen et plus âgés. Les différences inter-individuelles dans les caractéristiques osseuses semblent être dues aux effets combinés de la charge de l'exercice, de la taille du corps et des caractéristiques hormonales (Korhonen et coll. 2012). Fredericson (2007) a montré que les coureurs possèdent une DMO significativement plus élevée au niveau du calcaneum.

L'entraînement de sprint de 12 semaines est efficace pour augmenter l'aptitude cardiorespiratoire et diminuer le pourcentage de graisse corporelle chez les adolescents obèses (Salus et coll. 2022). Aussi l'entraînement de sprint a un impact sur l'oxydation des graisses pendant l'exercice chez les personnes souffrant d'obésité par rapport aux personnes sans obésité (Colpitts et coll. 2021).

L'entraînement de sprint est plus efficace en termes de temps que les régimes d'exercice et produit des résultats comparables en réduisant la masse grasse totale, ainsi que l'amélioration de la condition cardiorespiratoire bien qu'ils soient associés à des niveaux plus faibles d'oxydation des graisses (Kolnes et coll. 2021).

Deux semaines d'entraînement par intervalles de sprint ont considérablement amélioré un certain nombre de facteurs de risque métaboliques et vasculaires chez les hommes sédentaires en surpoids / obèses, soulignant le potentiel de fournir un modèle d'exercice alternatif pour l'amélioration de la santé vasculaire et métabolique (Whyte et coll. 2010).

L'entraînement intensif de force et de sprint améliore la structure et la force du tibia moyen chez les athlètes de sprint masculins d'âge moyen et plus âgés, ce qui suggère qu'en présence d'un exercice de charge de haute intensité, l'adaptabilité de la structure osseuse est maintenue pendant le vieillissement (Suominen et coll. 2017).

Une étude récente a montré que le 20 m de sprint présentait une précision suffisante pour le dépistage des enfants (âgés de 6 à 11 ans) ayant une plus grande probabilité d'avoir une faible DMO au niveau de la colonne vertébrale et du bassin (Mello et coll. 2022). Les bonnes valeurs allaient de 5,22 s à 4,00 s ; ces résultats ont une applicabilité pratique importante, dans laquelle nous suggérons l'utilisation de tests et de seuils dans tous les établissements de soins de santé primaires, les écoles et les clubs sportifs, en plus des cliniques pédiatriques.

## 5.2 Études menées sur les relations entre la course et le sprint sur la densité minérale osseuse

Tableau 2 : Études menées sur les relations entre la course, le sprint sur la densité minérale osseuse chez les sportifs

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
Suominen et coll. 2021	69 sprinters masculins âgés de 40 à 85 ans ayant suivi un entraînement de longue durée.	Études transversales et interventionnelles	Des interactions groupe/temps ont été trouvées pour le (CMO) total, la (DMOv) volumétrique et l'indice de résistance à la compression, ainsi que pour la surface de la section transversale corticale du Tibia, la surface médullaire ( $p < 0,05$ ). Ces interactions reflètent le maintien ou l'amélioration des propriétés osseuses chez les athlètes bien entraînés (10 ans) de 2 % à 5 % et la diminution chez les moins entraînés.	La poursuite de l'entraînement de force et de sprint est associée au maintien, voire à l'amélioration des propriétés du tibia chez les athlètes de sprint masculins d'âge moyen et plus âgés, ce qui suggère que l'exercice régulier et intensif empêche le vieillissement osseux.
Ireland et coll. 2020	71 athlètes maîtres d'athlétisme (30 hommes, 41 femmes, âge au départ $57,0 \pm 12,2$ ans)	Étude de cohorte longitudinale	Le sexe masculin et la participation à des épreuves de force étaient associés à un meilleur maintien du CMO du tibia, En revanche, il n'y avait aucune preuve solide d'effets du sexe ou de la discipline sur le CSMI, BSI.	Les athlètes masculins qui participent à des disciplines basées sur la PMI plutôt que sur l'endurance ont 1 meilleur maintien de la CSI des os mais pas la force de flexion et de torsion.



Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
Daichi Tomita et coll. 2020	28 sprinters (âge : 20,3 ± 1,6 ans) se sont spécialisés dans la course de 100 mètres et 28 sprinters (âge : 20,1 ± 1,4 ans) dans la course de 400 mètres.	Etude longitudinale.	Il n'y avait pas de corrélation significative entre les longueurs absolues et relatives du fémur et du tibia et les scores IAAF chez les sprinters du 100-m et du 400-m. En revanche, le rapport entre la longueur du tibia et la longueur du fémur est significativement corrélé avec le score IAAF chez les sprinters de 400 m ( $r = 0,445$ , $P = 0,018$ ), mais pas chez les sprinters de 100 m.	Ces résultats suggèrent que la longueur des os de la jambe peut jouer un rôle important dans l'obtention d'une performance supérieure en sprint long chez les sprinters spécialisés dans le 400 mètres.
Moradel et coll. 2020)	129 participants (94 femmes et 35 hommes, 76,2 ± 5,4 ans). La condition physique a été évaluée à l'aide de la Senior Fitness Test.	Etude longitudinale.	La densité minérale osseuse aréolaire (aDMO) du col était corrélée avec la souplesse ( $r = -0,37$ ) et la vitesse de marche ( $r = 0,39$ ). Les femmes ont montré des corrélations entre l'équilibre et l'aDMO totale de la hanche ( $r = 0,27$ ) et l'aDMO du trochanter ( $r = 0,25$ ). L'équilibre a permis de prédire l'aDMO du trochanter (changement $r^2 = 4,2\%$ ) et de la hanche totale (changement $r^2 = 4,9\%$ ) ( $p < 0,05$ dans les deux cas).	La masse osseuse chez les hommes âgés semble être plus influencée par la condition physique que chez les femmes, l'agilité et la vitesse de marche étant les variables présentant les associations les plus importantes. D'autres variables devraient être prises en compte chez les femmes pour les recherches futures.

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
Piasecki et coll. 2018	38 sprinters, âge moyen (AM) $71 \pm 7$ ans), 149 maîtres coureurs d'endurance (AM $70 \pm 6$ ans), 59 témoins non sportifs (AM $74 \pm 5$ ans).	Etude longitudinale.	La DMO de la hanche des sprinteurs était supérieure de 10 et 14 % à celle des coureurs d'endurance et des témoins. Il n'y avait aucune différence dans la DMO de la hanche ou de la colonne vertébrale entre les coureurs d'endurance et les témoins.	La pratique régulière de la course à pied est associée à une plus grande DMO aux sites de la hanche et de la colonne vertébrale.
Suominen et coll. 2017	72 hommes (40 à 85 ans) ont été répartis au hasard entre 1 GEX n = 40 qui ont participé à un programme de 20 semaines combinant des exercices de force lourds et explosifs avec un entraînement de sprint et GT, n = 32 qui ont fait un programme sprint.	Etude longitudinale.	L'intervention n'a eu aucun effet sur les caractéristiques osseuses du tibia distal. Au niveau du tibia moyen, la différence moyenne dans le changement de l'épaisseur corticale (EC) chez les GEX par rapport aux GT était de 2,0 % (p = 0,007). Les changements de structure et de force étaient plus prononcés chez les athlètes les plus assidus (adhésion à l'entraînement >75%). Par rapport au GT, la CSAT et corticale, ainsi que la surface et les moments d'inertie pondérés par la densité pour la direction de la plus petite rigidité en flexion ont augmenté chez les EX de 1,6 à 3,2 % (p = 0,023-0,006).	L'entraînement intensif de force et de sprint améliore la structure et la force des tibias moyens chez les athlètes de sprint masculins d'âge moyen et plus âgés, ce qui suggère qu'en présence d'un exercice de charge de haute intensité, l'adaptabilité de la structure osseuse est maintenue au cours du vieillissement.

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
Stanforth et coll. 2016	Des athlètes féminines collégiales, âgées de 18 à 23 ans, de basket-ball n = 38, de football n = 47, de natation n = 52), de sprinters et sauteurs sur piste n = 49) et de volley-ball n = 26	Des comparaisons longitudinales et transversales du contenu minéral osseux (CMO) et de la densité minérale osseuse (DMO) ont été effectuées	Les augmentations : CMO totale (3,3 %), DMO totale (1,4 %) et DMO de la colonne vertébrale (4,5 %) pour basket ball ; BMC totale (1,5 %) et BMD de la jambe (1,2 %) pour foot ; bras (1,8 %), jambe (1,9%) et la DMO totale (5,7%) pour natation ; la DMO totale (2,0%), le bras (1,7%), la jambe (2,3%), le bassin (3,4%), la colonne vertébrale (6,0%) et la DMO totale (2,3%) pour sprint ; et le bras (4,1%), la jambe (2,0%), le bassin (2,0%), la colonne vertébrale (2,0%) et la DMO totale (2,7%) pour VB.	De petites augmentations significatives dans de nombreuses mesures de CMO et de DMO se produisent pendant la carrière universitaire des athlètes féminines. Les différences de CMO et de DMO entre les sports à impact et les sports sans impact sont importants par rapport aux différences plus faibles au sein des sports à impact.
Hirsh et coll. 2016	Soixante athlètes d'athlétisme âge = $19,2 \pm 1,4$ ans, taille = $174,6 \pm 9,0$ cm, et poids = $71,5 \pm 12,5$ kg) ont été répartis en 6 groupes d'épreuves.	Analyses longitudinale et transversale, respectivement.	Les lanceurs avaient significativement plus de MG absolue ( $21,6 \pm 11,0$ kg), de masse corporelle totale ( $89,7 \pm 17,4$ kg), de % de graisse ( $23,6 \pm 7,8$ ) et de graisse du tronc ( $9,4 \pm 5,8$ kg) que tous les autres groupes d'épreuves ( $p \leq 0,05$ ). Les lanceurs avaient la MM absolue ( $64,2 \pm 11,7$ kg ; $p > 0,05$ ), mais par rapport à la MC, ils avaient relativement moins de MM ( $0,72 \pm 0,08$ kg ; $p \leq 0,05$ ).	Avec un entraînement approprié, les athlètes d'athlétisme peuvent être en mesure de minimiser les pertes en masse maigre et les gains en masse grasse entre les saisons.

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
Korhonen et coll. 2012	83 sprinters masculins (40-85 ans) et 19 référents physiquement actifs (31-45 ans).	Analyses longitudinale	Les valeurs osseuses étaient généralement plus élevées chez les athlètes que chez les référents, les différences les plus importantes concernant la résistance à la flexion de la tige du tibia, estimée par le moment d'inertie maximal (Imax). Chez les athlètes, la DMOv trabéculaire du tibia distal était inférieure de 12 % ( $P < 0,05$ ) dans le groupe le plus âgé ( $\geq 70$ ans) par rapport au groupe le plus jeune, alors que le contenu minéral osseux total, la surface transversale totale et l'indice de résistance osseuse en compression ne différaient pas entre les groupes.	Les résultats suggèrent que l'entraînement régulier au sprint a des effets positifs (spécifiques à la direction) sur la force et la structure osseuses chez les athlètes d'âge moyen et plus âgés. Les différences inter-individuelles dans les caractéristiques osseuses semblent être dues aux effets combinés de la charge de l'exercice, de la taille du corps et des caractéristiques hormonales.
Ackerman et coll. 2012	Dix-neuf athlètes de division I (13 coureurs de fond, 6 lutteurs et 7 golfeurs) ont été recrutés dans une université locale pour cette étude.	Cross section. Les principaux critères d'évaluation DMO, des critères endocriniens : œstradiol total et libre, testostérone totale et libre ; 3) masse adipeuse et	Les niveaux d'œstradiol libre et total étaient des déterminants positifs importants de la DMO. En revanche, les niveaux de testostérone libre et totale n'étaient pas des prédictifs significatifs de la DMO, quel que soit le site du squelette (à l'exception de la testostérone libre au niveau du radius). En outre, la MM, le % de poids idéal, le poids total, (IMC) et le nombre/h d'entraînement en résistance/s étaient des facteurs prédictifs positifs de	Nos données suggèrent que les niveaux d'œstradiol, l'IMC et l'entraînement en résistance sont des déterminants plus importants de la DMO chez les athlètes universitaires masculins que la testostérone.

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
		MG, 4)(VO2 max), nombre de km/s parcourus et force de préhension.	la DMO. Le VO2 max était un prédicteur négatif de la DMO. La DMO moyenne était plus élevée à tous les sites squelettiques chez les lutteurs par rapport aux coureurs et à un groupe de (golfeurs).	
Carbuhn et coll. 2010	67 femmes athlètes universitaires de 5 sports, softball (n = 17), basket-ball (n = 10), volley-ball (n = 7), natation (n = 16), et athlétisme (n = 17)	Etude longitudinale a été examinées par à 3 périodes saisonnières : (a) hors saison (b) avant-saison (c) après-saison	Les changements significatifs entre l'inter-saison et l'avant-saison ou l'après-saison du %FO, du MM et de la DMO dans chaque sport étaient les suivants, respectivement : softball, -7, +4, +1% ; basket-ball, -11, +4, +1% ; volley-ball, inchangé, inchangé, +2% ; natation, inchangé, +2,5%, inchangé ; sauteurs et sprinters sur piste, -7, +3,5, +1%. Les comparaisons entre les athlètes de chaque sport ont montré que les mesures osseuses des nageurs étaient en moyenne de 4 à 19 % inférieures à celles des athlètes de tout autre sport, tandis que pour les sauteurs sur piste et les sprinters, le %FO et la MG étaient en moyenne de 36 et 43 % inférieurs à ceux des autres sports à toutes les périodes saisonnières.	Ces données servent de valeurs de référence spécifiques au sport pour les comparaisons entre les périodes d'entraînement en saison et hors saison chez les athlètes féminines collégiales dans divers sports.

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
Bemben et coll. 2004	26 athlètes féminines (âgées de 18 à 22 ans).	Etude longitudinale	Le groupe GYM (collegiate athletes-gymnasts) présentait une prévalence plus élevée de troubles du cycle menstruel autodéclarés que le groupe CC (cross-country runners). Aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) en matière de DMO n'a été constatée entre le groupe menstruation normale et le groupe dysfonctionnement menstruel (oligo/aménorrhée).	Les gymnastes avaient une DMO significativement plus élevée ( $p < 0,05$ ) que les coureuses, ce qui suggère que la DMO est influencée par le type de chargement mécanique. Le statut menstruel n'a pas affecté de manière significative la DMO chez ces athlètes féminines. Il a été déterminé que les coureuses de cross-country présentaient un risque plus élevé de faible masse osseuse que les gymnastes.
Emslander et coll. 1998	21 coureurs, 22 nageurs et 20 sujets témoins.	Cross section est une analyse statistique comparative de la (DMO) du corps entier, de la colonne lombaire et du col du fémur, de	Aucune différence significative de DMO n'a été notée entre les trois groupes. La DMO du corps total ( $r = 0,30$ ; $P = 0,02$ ) et la DMO du col du fémur ( $r = 0,39$ ; $P = 0,002$ ) étaient positivement corrélées à l'activité de mise en charge, mais pas à l'activité sans mise en charge. La VO2Max (un indice de la condition physique) était positivement corrélée avec la DMO du col du fémur ( $r = 0,33$ ; $P$	La DMO totale du corps et la DMO du col du fémur étaient significativement plus élevées dans le groupe d'étude qui a effectué des exercices de mise en charge que chez les sujets de contrôle. L'exercice de natation n'a eu aucun effet sur la DMO, et

Auteurs et année	Population	Méthodes	Résultats	Conclusion
		(VO2max), de la force musculaire	= 0,009) et la DMO trochantérienne (r = 0,29 ; P = 0,021). La force musculaire des épaules était positivement corrélée avec la DMO du corps total (r = 0,34 ; P = 0,007) et la DMO de la colonne lombaire (r = 0,28 ; P = 0,028). Les nageurs avaient une plus grande force musculaire dans le dos et les extrémités supérieures que les coureurs et les sujets témoins.	bien que la natation ne soit pas un exercice de construction osseuse, elle peut améliorer significativement la force musculaire des épaules, du dos et de la préhension.
Etherington et coll. 1996	83 anciennes athlètes féminines (67 coureuses de fond et de demi-fond, 16 joueuses de tennis, (40 à 65 ans). Les témoins étaient 585 femmes groupées selon l'âge.	Etude Longitudinale	Les athlètes avaient une DMO plus importante que les témoins : 8,7 % au CL (colonne lombaire) (intervalle de confiance à 95 % [IC] 5,4-12,0 ; p < 0,001) et 12,1 % au FN (col du fémur) (IC 9,0-15,3 ; p < 0,001). Les bénéfices de l'exercice semblent persister après l'arrêt de l'activité sportive. Les témoins actifs avaient une DMO plus importante que le groupe inactif : 7,9% LS (CI 2,0-13,8 ; p = 0,009) et 8,3% FN (CI 2,7-13,8 ; p = 0,004). Les témoins à faible activité (n = 216) avaient une DMO intermédiaire.	L'exercice régulier et intensif de mise en charge d'une heure ou plus par semaine est associé à une augmentation de la DMO dans une population normale. Cette étude confirme que l'exercice de port de poids à long terme est un facteur important dans la régulation de la masse osseuse et la prévention des fractures.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse ; VO<sub>2</sub> max : Consommation maximale d'oxygène ; IMC : Indice de masse corporelle. CSMI (moment d'inertie, CSA (surface de section transversale, CSI (indice de force en compression), BSI (indice de force en flexion), RSI (indice de force au resistance), p (p value), IC (indice de compression), FN (femoral neck), GEX (groupe experimentale), GT (groupe Temoin), MM (masse maigre), MG (masse grasse).



## Synthèse et objectifs

L'ostéoporose est une maladie osseuse très fréquente. L'ostéoporose masculine est dangereuse et elle est associée à un risque élevé de morbidité et de mortalité.

Le pic de masse osseuse est un déterminant important du risque fracturaire plus tard dans la vie. Par conséquent, l'augmentation du pic de masse osseuse est capitale dans la stratégie visant à prévenir les fractures ostéoporotiques. Le pic de masse osseuse est influencé par plusieurs facteurs comme la génétique, les facteurs mécaniques, les facteurs nutritionnels et les facteurs hormonaux. Des études récentes menées chez les jeunes adultes ont démontré que la force maximale, la puissance musculaire et les qualités explosives sont fortement corrélés à la DMO.

La relation entre l'obésité et le métabolisme osseux est très complexe et inclut plusieurs facteurs. Les contraintes mécaniques associées à l'excès de poids exercent un effet positif sur la santé osseuse. Cependant, l'augmentation des cytokines inflammatoires associée à l'obésité a des effets négatifs sur la masse osseuse. La perte de poids est indispensable chez les sujets obèses mais s'accompagne d'une perte de DMO. L'addition des exercices physiques à impacts est utile pour limiter les pertes osseuses rencontrées durant les périodes de perte de poids chez les sujets obèses.

A notre connaissance, deux méta-analyses ont examiné l'influence de l'entraînement physique sur les paramètres osseux chez les sujets obèses ou en surpoids. Cette influence dépend de l'âge, du niveau de maturation et du type d'activité physique. De plus, il n'y a, à notre connaissance, aucune étude ayant exploré les effets d'un entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez les adultes en surpoids ou obèses.

L'objectif principal de cette thèse est d'explorer les effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez des jeunes hommes en surpoids. L'hypothèse de cette thèse est que ce type d'entraînement aurait un effet positif sur la densité minérale osseuse et les paramètres de performance physique sans pour autant affecter significativement la composition corporelle.

La thèse inclut également trois études préliminaires ayant les objectifs suivants :

- Comparer les indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes actifs et des jeunes hommes inactifs ;

- Explorer les relations entre la puissance maximale des membres inférieurs et les valeurs de DMO chez les jeunes adultes ;
- Explorer les relations entre la détente verticale et les indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes femmes.

**Deuxième partie :**  
**Contribution personnelle**

## Méthodologie générale

### 1. Conception des études menées

Cette thèse est basée sur quatre études (une principale et trois préliminaires). Les études préliminaires sont des études transversales alors que l'étude principale est une étude longitudinale. Le tableau suivant décrit les études réalisées.

Tableau 3 : Les quatre études menées dans le cadre de la thèse

Etude	Population	Objectifs	Publication
1	80 jeunes hommes Libanais (63 actifs : activité physique/semaine > 150 minutes et 25 sédentaires : activité physique/ semaines < 150 minutes) âgés entre 18 et 35 ans ont participé à cette étude.	L'objectif de cette étude était d'explorer l'effet de l'activité physique d'intensité modérée > 150 minutes/semaine sur les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de jeunes hommes libanais.	E. Zakhem (1) ; P. Kamlé (1) ; C. El Khoury (1) ; R. El Hage* (1) Effet de l'activité physique sur les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de jeunes hommes. Communications posters commentés / Revue du Rhumatisme 86S (2019) A173-A323
2	29 jeunes hommes libanais et 31 jeunes femmes libanaises dont l'âge varie entre 18 et 32 ans ont participé à cette étude	L'objectif de cette étude était d'explorer les relations entre la puissance musculaire des membres inférieurs et les variables osseuses (contenu minéral osseux (CMO), densité minérale osseuse (DMO), indices de géométrie de la hanche et score de l'os trabéculaire (TBS) chez un groupe de jeunes adultes libanais.	Patchina Sabbagh <sup>1,2</sup> , Pierre Kamlé <sup>1,3</sup> , Antonio Pinti <sup>4</sup> (&), Georgette Farah <sup>1</sup> , Hayman Saddick <sup>1,3</sup> , Eddy Zakhem <sup>1</sup> , Boutros Finianos <sup>1,5</sup> , Gautier Zunquin <sup>5,6</sup> , Georges Baquet <sup>2</sup> , and Rawad El Hage <sup>1</sup> . Relationships Between Muscular Power and Bone Health Parameters in a Group of Young Lebanese Adults. In: Rojas, I., Valenzuela, O., Rojas, F., Herrera, L., Ortuño, F. (eds) Bioinformatics and Biomedical Engineering. IWBBIO 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12108. Springer, Cham. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-45385-5_11">https://doi.org/10.1007/978-3-030-45385-5_11</a>

<b>Etude</b>	<b>Population</b>	<b>Objectifs</b>	<b>Publication</b>
3	206 jeunes femmes (18 à 35 ans) ont participé volontairement à cette étude.	Le but de cette étude était d'examiner les relations entre la détente verticale et les indices de résistance osseuse du col fémoral (indice de force en compression (CSI), indice de forces en flexion (BSI) et indice de forces aux contraintes (ISI) dans un groupe de jeunes femmes.	Anthony Khawaja <sup>1,2</sup> , Pierre Kamlé <sup>1,3</sup> , Elie Maliha <sup>1,4</sup> , Ghassan Maalouf <sup>4</sup> , Hechmi Toumi <sup>3</sup> , Antonio Pinti <sup>5</sup> , and Rawad El Hage <sup>1</sup> . Relationships Between Vertical Jump and Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Women. In: Rojas, I., Castillo-Secilla, D., Herrera, L.J., Pomares, H. (eds) Bioengineering and Biomedical Signal and Image Processing. BIOMESIP 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12940. Springer, Cham. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-88163-4_3">https://doi.org/10.1007/978-3-030-88163-4_3</a>
4	43 jeunes hommes (entre 18 et 26 ans) en surpoids (IMC > 25 kg/m <sup>2</sup> ) ont participé à cette étude. La population a été divisée en deux groupes : groupe sprint (n = 21) et groupe témoin (n = 22).	L'objectif de cette étude était d'explorer les effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids.	Authors: Pierre kamlé <sup>1,2</sup> , Antonio Pinti <sup>3</sup> , Zaher El Hage <sup>4</sup> , Nour Khalil <sup>1,3</sup> , Hechmi Toumi <sup>5,6</sup> , Rawad El Hage <sup>1</sup> , * A one-year sprint training program improves bone mineral density and physical performance parameters in a group of young overweight men. Journal of Clinical Densitometry. JCLINDENSITOM-D-22-00104

CMO : Contenu Minéral Osseux ; DMO : Densité Minérale Osseuse ; CSA : CSI : Indice de résistance en compression ; BSI : Indice de résistance en flexion ; ISI : Indice de force aux contraintes ; TBS Score de l'os trabéculaire.

## 2. Recrutement des Sujets inclus dans l'étude principale

Cette étude va étudier les effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids ou obèses. Ce travail de thèse a été mené entre l'Université d'Orléans, France et l'Université de Balmand, Liban dans le cadre d'une cotutelle internationale. Le travail expérimental a été mené au Liban. Au total, 43 sujets jeunes âgés entre 18 et 26 ans, en surpoids ou obèses ( $IMC > 25 \text{ kg/m}^2$ ), ont participé à cette étude : 21 hommes ayant pratiqué le sprint à raison de deux fois par semaine et 23 sédentaires (ne pratiquant pas régulièrement le sprint). Leur recrutement a eu lieu dans deux universités privées situées au Nord Liban. Le consentement éclairé des participants a été obtenu.

### 2.1 Facteurs d'inclusion

- Garçons en surpoids ou obèses dont l' $IMC > 25 \text{ kg/m}^2$
- Age compris entre 18 et 30 ans
- Sans antécédents médicaux ou endocriniens

### 2.2 Facteurs d'exclusion

Tout sujet présentant au niveau d'un ou des deux membres inférieurs des :

- Pathologies articulaires
- Pathologies musculaires
- Pathologies neurologiques

### 2.3 Mesures anthropométriques

Le poids et la taille ont été mesurés par l'intermédiaire d'une balance électronique (Taurus, précision : 0,1 kg) et d'une toise (Seca, précision : 0,1 cm), et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. La masse maigre et la masse grasse ont été évaluées par DXA.

### 2.3.1 Mesures des paramètres osseux

Des mesures d'absorptiométrie biphotonique à rayons- X (DXA (GE Healthcare, Madison, WI)). Le contenu minéral osseux (CMO) et la densité minérale osseuse (DMO) ont été évalués au niveau du corps entier (CE), du rachis lombaire (L1-L4), de la hanche entière (HE) et du col fémoral (CF). La composition corporelle, la surface de la section transversale du col fémoral (CSA CF), le module de section du col fémoral (Z CF) et le TBS (trabecular bone score) au niveau du rachis lombaire ont été également évalués par DXA. Toutes ces mesures ont été réalisées par le même technicien et sur la même machine dans le même centre hospitalier. Le caractère aveugle (par rapport au groupe d'appartenance des sujets : sédentaire ou sportif) du technicien réalisant les mesures était respecté. Dans ce centre, le coefficient de variation pour les mesures de DMO de la hanche entière était inférieur à 1%.

- La surface de section transversale ou Cross-sectional area (CSA, mm<sup>2</sup>) reflète la résistance osseuse à la compression.
- Le moment d'inertie polaire ou Cross-sectional moment of inertia (CSMI, mm<sup>4</sup>) reflète la résistance osseuse à la flexion (bending loads) et la torsion (torsion loads).
- Le module de section ou Section modulus (Z, mm<sup>3</sup>) reflète la résistance osseuse à la flexion et la torsion.
- Le degré d'instabilité corticale ou le Buckling ratio (BR). C'est le rapport entre la distance entre le centre de l'os et le bord externe et l'épaisseur de l'os cortical. Des valeurs élevées de BR sont associées à un risque élevé de fracture.
- L'indice de résistance osseuse ou Strength index (SI). Cet indice prend en considération la masse osseuse et la distribution de cette masse. C'est un indicateur de la résistance du col fémoral à la force générée lors d'une chute sur le grand trochanter.

### 2.4 Mesures de la force maximale et tests de performance physique (détente verticale, détente horizontale, triple bond)

La force maximale des fléchisseurs du genou (1-RM ischio-jambiers), des extenseurs du genou (1-RM quadriceps) et des mollets (1-RM mollets) a été évaluée selon les instructions de Kraemer et coll. (2006) la séance a été précédée par des exercices d'échauffement, des exercices à intensité faible

et des étirements dynamiques. Une séance d'écolage a été effectuée avant la mesure de la force maximale des muscles principaux du sprint.

## 2.5 Questionnaires

La consommation calcique journalière (CCJ), la consommation protéique journalière (CPJ), la durée du sommeil, la qualité du sommeil et le volume hebdomadaire d'activité physique ont été évalués par des questionnaires validés.

### 2.5.1 Test de consommation calcique journalière (mg/j)

Le calcul des apports de la ration calcique quotidienne a été effectué par l'intermédiaire d'un questionnaire validé mis au point par l'équipe scientifique du centre hospitalier universitaire d'Amiens. Ce questionnaire comporte 30 questions évaluant la consommation de produits laitiers, viandes, poissons, oeufs, diverses céréales, légumes secs, légumes verts, fruits, desserts, eau (minérale et du robinet), jus de fruits et boissons alcoolisées (vin, bière et cidre). (Fardellone et coll.1991).

### 2.5.2 Test de consommation protéique journalière (Morin et coll. 2005)

Le questionnaire de Morin et coll. (2005) qui est un questionnaire fréquentiel préalablement utilisé pour évaluer la consommation protéique journalière (CPJ).

### 2.5.3 La qualité de sommeil (PSQI)

Le Pittsburgh sleep Quality Index (PSQI) est un questionnaire qui évalue la qualité rétrospective et déclarative du sommeil sur un intervalle de temps d'un mois Il est associé ici à un recueil déclaratif des heures de coucher et de lever ainsi que de la latence d'endormissement estimée. Le PSQI comprend 19 questions d'auto-évaluation et 5 questions posées au conjoint ou compagnon 115 de chambre (s'il en est un). Seules les questions d'auto-évaluation sont incluses dans le score. Les



19 questions d'autoévaluation se combinent pour donner 7 "composantes" du score global, chaque composante recevant un score de 0 à 3. Dans tous les cas, un score de 0 indique qu'il n'y a aucune difficulté tandis qu'un score de 3 indique l'existence de difficultés sévères. Les 7 composantes du score s'additionnent pour donner un score global allant de 0 à 21 points, 0 voulant dire qu'il n'y a aucune difficulté, et 21 indiquant au contraire des difficultés majeures (Buysse et coll. 1989).

#### 2.5.4 Le niveau d'activité physique (IPAQ)

Le niveau usuel d'activité physique a été évalué par le questionnaire IPAQ. Ce questionnaire international validé évalue les différentes activités physiques dans la vie quotidienne (la marche, l'activité physique modérée, l'activité physique intense et le temps assis). Les questions portent aussi sur le temps d'exécution (Hagströmer et coll. 2006).

#### 2.6 Démarche expérimentale

La performance au sprint de 20 mètres a été évaluée par des cellules photo-électriques (BROWER Timing Systems) et mesurée deux fois, une fois avant et une fois après l'entraînement de 12 mois. Pour chaque mesure 3 essais ont été réalisés (espacés de 2 minutes de récupération) et la meilleure performance a été retenue. La mesure a été précédé par un échauffement standardisé incluant de la course à pieds et des éducatifs de course.

Tableau 4 : Protocole de l'entraînement sur 12 mois

<b>Période</b>	<b>Série et protocole</b>	<b>Temps de repos entre les séries</b>	<b>Temps de repos entre deux sprints</b>	<b>Durée de la séance</b>
Première période	2 séries de 4 x 20 m	10 minutes	1-2 minutes	15 à 20 minutes
Deuxième période	2 séries de 6 x 20 m	10 minutes	1-2 minutes	20 à 25 minutes
Troisième période	3 séries de 4 x 20 m	10 minutes	1-2 minutes	25 à 30 minutes
Quatrième période	3 séries de 5 x 20 m	10 minutes	1-2 minutes	30 à 35 minutes

Le tableau suivant résume l'entraînement du groupe expérimental composé de 21 garçons, durant les 12 mois, répartis sur 4 périodes, chacune de 3 mois, à raison de deux fois par semaine.

### **3. Étude statistique**

Les données sont exprimées en moyennes  $\pm$  la déviation standard ou l'erreur standard. Les corrélations ont été précisées par le test de Pearson. Les différences entre les groupes ont été précisées par une analyse de variance à une voie (ANOVA). Une analyse de covariance (ANCOVA) a été utilisée afin de comparer les variables osseuses entre les groupes après ajustement pour des covariants (Etude préliminaire 1). Des régressions linéaires multiples ont été utilisées dans les études préliminaires 2 et 3. Une analyse de variance à deux voies mesures répétées a été utilisée dans l'étude principale afin de juger des interactions groupe \* temps. Les valeurs de d de Cohen (taille d'effet) ont été calculées afin de quantifier la réponse osseuse dans le groupe expérimental. Les analyses statistiques ont été effectuées par les logiciels Sigma Stat et NCSS.

**Étude préliminaire 1 : Indices de résistance osseuse  
du col fémoral chez des jeunes hommes actifs et des  
jeunes hommes inactifs**

## 1. Résumé

**Objectif :** L'objectif de cette étude était d'explorer l'effet du niveau d'activité physique d'intensité modérée (durée hebdomadaire > 150 minutes) sur les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de jeunes hommes libanais.

**Patients et méthodes :** 88 jeunes hommes Libanais (63 actifs : activité physique/semaine > 150 minutes et 25 inactifs : activité physique/semaine < 150 minutes) âgés entre 18 et 35 ans ont participé à cette étude. Le poids et la taille ont été mesurés, et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. L'absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) a été utilisée pour évaluer la composition corporelle (masse maigre et masse grasse) et la densité minérale osseuse au niveau du rachis lombaire, du col fémoral et de la hanche entière. L'indice de force en compression (CSI), l'indice de force en flexion (BSI) et l'indice de résistance aux impacts (ISI) ont été calculés. La force en compression ( $CSI = [DMO\ CF * largeur\ CF / poids\ CF]$ ) et en flexion ( $BSI = [DMO\ CF * largeur^2\ CF] / [longueur\ de\ l'axe\ de\ la\ hanche * poids\ corporel]$ ) reflètent la capacité du CF à résister aux contraintes mécaniques. La force de résistance aux impacts ( $ISI = [DMO\ CF * largeur\ CF * longueur\ de\ l'axe\ de\ la\ hanche] / [taille * poids]$ ) reflète la capacité d'absorber l'énergie générée lors de la chute depuis la position debout.

**Résultats :** Le poids, la taille, l'IMC, la masse grasse et la masse maigre n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. La DMO de la hanche entière ( $p = 0,0072$ ) et la DMO du col fémoral ( $p = 0,035$ ) étaient significativement plus élevées chez ceux qui pratiquaient une activité physique > 150 minutes par rapport aux sujets inactifs (durée < 150 minutes), même après ajustement pour le poids, l'IMC, la masse grasse et la masse maigre. Les indices de résistance osseuse du col fémoral ((CSI ( $p < 0,001$ ), BSI ( $p = 0,006$ ) et ISI ( $p = 0,0015$ )) étaient significativement plus élevés chez ceux qui pratiquaient une activité physique > 150 minutes par rapport aux sujets inactifs (pratique hebdomadaire < 150 minutes) même après ajustement pour le poids ou la masse grasse.

**Conclusion :** À notre connaissance, c'est la première étude qui révèle une différence significative en ce qui concerne les indices de résistance osseuse du col fémoral entre deux groupes de jeunes adultes ayant un niveau différent d'activité physique. La pratique d'une activité physique à intensité modérée peut potentiellement améliorer les indices de résistance osseuse du col fémoral chez les jeunes hommes.

**Résultats.** – Cent-cinquante patientes ont été colligées. L'âge moyen était de 61,12 ans [39,1-81] avec un indice de masse corporelle moyen de 31,07 kg/m<sup>2</sup> [15,18-44,38]. 30,7 % des patientes étaient diabétiques et 35,3 % étaient hypertendues. Un antécédent de polyarthrite rhumatoïde a été retrouvé dans 8,7 % des cas. La DMO vertébrale moyenne était de 0,967 g.cm<sup>-3</sup> [0,558-1,650]. La DMO totale fémorale moyenne était de 0,856 g.cm<sup>-3</sup> [0,521-1,276]. Un antécédent d'au moins une chute a été noté dans 44,7 % des patientes et les chutes répétées ont été retrouvées dans 28,7 % des cas. Le nombre moyen de chute était de 0,95 chute par an. Parmi les facteurs de chute étudiés, les troubles de l'appareil locomoteurs étaient les plus fréquentes, ils ont été retrouvés dans 35,5 % des cas : l'arthrose des membres inférieurs, l'arthrose du rachis, les anomalies des pieds et l'utilisation d'une aide à la marche ont été notés respectivement dans 34,7 %, 13,3 %, 8 % et 9,3 %. On a noté la présence de troubles de la miction chez 34,7 % des femmes, une baisse de l'acuité visuelle dans 34 % des cas et des troubles dépressifs dans 10,7 % des femmes. La DMO vertébrale étaient significativement plus basse chez les patientes ayant un antécédent de chutes répétées (0,902 vs 0,993, p = 0,003).

**Conclusion.** – Les chutes répétées ont été retrouvées chez un tiers de nos patientes avec une moyenne d'une chute par an. Ceci souligne l'importance du dépistage des facteurs de risque de chute pour une évaluation précise du risque fracturaire des patientes à risque d'ostéoporose.

**Conflit d'intérêt.** – aucun

PE-Lu.105

### Effet de l'activité physique sur les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de jeunes hommes

E. Zakhem (1) ; P. Kamlé (1) ; C. El Khoury (1) ; R. El Hage\* (1)  
(1) Division of education, University of Balamand, Faculty of Arts and Sciences, Tripoli, Liban

\*Auteur correspondant : rawad.hage@balamand.edu.lb (R. El Hage)

**Introduction.** – L'objectif de cette étude était d'explorer l'effet de l'activité physique d'intensité modérée > 150 minutes sur les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de jeunes hommes libanais.

**Patients et méthodes.** – 80 jeunes hommes Libanais (63 actifs : activité physique/semaine > 150 minutes et 25 sédentaires : activité physique/semaines < 150 minutes) âgés entre 18 et 35 ans ont participé à cette étude. Le poids et la taille ont été mesurés, et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. L'absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA) a été utilisée pour évaluer la composition corporelle (masse maigre et masse grasse) et la densité minérale osseuse au niveau du rachis lombaire, du col fémoral et de la hanche entière. L'indice de force en compression (CSI), l'indice de force en flexion (BSI) et l'indice de résistance aux impacts (ISI) ont été calculés. La force en compression ( $[DMO \text{ CF} \times \text{largeur} / \text{poids CF}]$ ) et en flexion ( $[DMO \text{ CF} \times \text{largeur}^2 \text{ CF}] / [\text{longueur de l'axe de la hanche} \times \text{largeur}]$ ) reflète la capacité du CF à résister à des contraintes mécaniques. En revanche, la force de résistance aux impacts ( $[DMO \text{ CF} \times \text{largeur} \text{ CF}] / [\text{longueur de l'axe de la hanche} / \text{taille} \times \text{poids}]$ ) reflète la capacité d'absorber l'énergie générée lors de la chute depuis la position debout.

**Résultats.** – Le poids, la taille, l'IMC, la masse grasse et la masse maigre n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. La DMO de la hanche entière (p = 0,0072) et du col fémoral (p = 0,035) étaient significativement plus élevées chez ceux qui pratiquaient une activité physique > 150 minutes par rapport aux sédentaires (< 150 minutes), même après ajustement pour le poids, l'IMC, la masse grasse et la masse maigre. Les indices de résistance osseuse du col fémoral ((CSI (p < 0,001), BSI (p = 0,006) et ISI (p = 0,0015)) étaient significativement plus élevés chez ceux qui pratiquaient une activité physique > 150 minutes par rapport aux

sédentaire (< 150 minutes), même après ajustement du poids, de l'IMC, de la masse grasse et de la masse maigre.

**Conclusion.** – À notre connaissance, c'est la première étude qui révèle une différence significative en ce qui concerne les indices de résistance osseuse du col fémoral entre deux groupes de jeunes adultes ayant un niveau d'activité physique différent. La pratique d'une activité physique à intensité modérée peut potentiellement améliorer les indices de résistance osseuse du col fémoral.

**Conflit d'intérêt.** – aucun

PE-Lu.106

### Manifestations rhumatologiques et nouvelles thérapies en cancérologie: une étude prospective monocentrique

A. Mouamnia\* (1) ; R. Desbarbieux (1) ; L. Mortier (2) ; A. Scherpereel (3) ; S. Dubucquoi (4) ; P. Philippe (5) ; B. Cortet (1) ; RM. Flipo (1) ; MH. Vieillard (1)

(1) Service de rhumatologie, C.H.U. Roger Salengro, Lille ; (2) Service de dermatologie, CHU Lille, Lille ; (3) Pneumologie et oncologie thoracique, C.H. Régional Universitaire de Lille (CHRU de Lille), Lille ; (4) Laboratoire immunologie, C.H.U Lille, Lille ; (5) Service de rhumatologie, C.H.U Roger salengro, Lille

\*Auteur correspondant : amine.mouamnia@live.fr (A. Mouamnia)

**Introduction.** – L'immunothérapie a révolutionné la prise en charge oncologique au cours de ces dernières années. L'immunothérapie repose sur l'utilisation d'inhibiteurs de checkpoint permettant une levée d'inhibition des lymphocytes T induite par les cellules tumorales. Ces traitements sont pourvoyeurs d'effets indésirables nommés immune-related Adverse Events (irAEs). Les irAEs articulaires sont peu caractérisés et leur prise en charge n'est pas codifiée.

**Matériels et méthodes.** – Cette étude prospective, observationnelle, descriptive incluait les patients vus en rhumatologie pour des manifestations articulaires d'apparition de novo ou l'exacerbation de manifestations articulaires après l'initiation d'une immunothérapie. L'objectif était d'évaluer en « vraie vie » la séméiologie clinique des irAEs ostéo-articulaires.

**Résultats.** – Trente-sept patients étaient inclus pour irAEs. 24 mélanomes avec mutation B-RAF, 7 carcinomes pulmonaires non à petites cellules, 1 glioblastome, 1 carcinome neuroendocrine à petites cellules, 1 tumeur colorectale associée à un phénotype microsatellite instable, 1 cancer différencié thyroïdien, 1 carcinome rénal à cellules claires et 1 adénocarcinome œsophagien. Les manifestations articulaires étaient majoritairement d'horaires inflammatoires (94,59 %), avec 45,95 % d'arthrites/synovites. Dans notre étude, nous avions 13 arthrites indifférenciées (35,14 %), 5 pseudo-polyarthrites rhizoméliques-like (13,51 %), 1 rhumatisme microcristallin (2,70 %), 11 tableaux de polyarthralgie d'horaires inflammatoires (29,73 %), 1 fasciite de Shulman (2,70 %), 1 hydarthrose (2,70 %), 1 tableau de myalgie d'étiologie indéterminée (2,70 %), et 4 tableaux de rachialgies d'horaires mécaniques (10,81 %).

**Conclusion.** – Les irAEs ostéo-articulaires sont principalement de forme périphérique. Ils ne nécessitent que très rarement l'arrêt de l'ICI et imposent une étroite collaboration entre rhumatologues et oncologues.

**Conflit d'intérêt.** – aucun

PE-Lu.107

### La prévalence de la gammopathie monoclonale chez les patients porteurs d'un rhumatisme inflammatoire chronique sous traitements selon les données du registre marocain de biothérapie

L. Taoubane\* (1) ; S. Sadni (1) ; A. Majjad (1) ; EO. Najlae (1) ; M. Khatry (1) ; HJ. Djossou (2) ; R. Abouqal (3) ; F. Allali (4) ; R. Bahiri (5) ; I. El Bouchti (6) ; A. El Maghraoui (7) ; I. Ghozlani (8) ;

**Étude préliminaire 2 : Relations entre la puissance musculaire et les paramètres de santé osseuse chez des jeunes adultes Libanais**

## 1. Résumé

L'objectif de cette étude était d'explorer les relations entre la puissance musculaire des membres inférieurs et les variables osseuses (contenu minéral osseux (CMO), densité minérale osseuse (DMO), indices de géométrie de la hanche et score de l'os trabéculaire (TBS)) chez un groupe de jeunes adultes libanais. 29 jeunes hommes libanais et 31 jeunes femmes libanaises dont l'âge variait entre 18 et 32 ans ont participé à cette étude. Le poids et la taille ont été mesurés et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. La composition corporelle et les variables osseuses ont été mesurées par DXA. Les mesures DXA ont été effectuées pour le corps entier (CE), la colonne lombaire (L2-L4), la hanche totale (TH) et le col du fémur (FN). Les paramètres géométriques de la hanche, notamment l'aire de la section transversale (CSA), le moment d'inertie (CSMI), le module de section (Z), l'indice de résistance (SI) et le buckling ratio (BR) ont été calculés par DXA. Le score de l'os trabéculaire a également été calculé par DXA. Le saut horizontal (HJ), le saut vertical, la puissance maximale du saut vertical, la puissance maximale évaluée par le test charge-vitesse et la performance du sprint sur 20 mètres ont été mesurés ou calculés à l'aide de tests d'aptitude validés. Chez les hommes, le pourcentage de masse grasse était négativement corrélé à la DMO TH, la DMO FN, la CSA, la CSMI, le Z et le SI. Chez les femmes, le poids, l'IMC, la masse maigre et la masse grasse étaient positivement corrélés à la DMO HT, la DMO FN, la CSA, la CSMI, le Z, SI, le CSMI et le Z. En ce qui concerne les variables de performance physique, la performance de saut horizontal et la puissance maximale force-vitesse étaient positivement corrélées à la DMO HT, la DMO CF, la CSA et le Z chez les hommes. La puissance maximale du saut vertical était positivement corrélée au CMO du corps entier chez les femmes. La durée du sprint sur 20 m était négativement corrélée à la DMO CF, à la CSA, au Z et au SI chez les hommes. En conclusion, cette étude suggère que la puissance maximale évaluée par le test de charge-vitesse est un déterminant positif de la DMO et des indices de géométrie osseuse de la hanche chez les hommes mais pas chez les femmes.





## Relationships Between Muscular Power and Bone Health Parameters in a Group of Young Lebanese Adults

Patchina Sabbagh<sup>1,2</sup>, Pierre Kamlé<sup>1,3</sup>, Antonio Pinti<sup>4(✉)</sup>,  
Georgette Farah<sup>1</sup>, Hayman Saddick<sup>1,3</sup>, Eddy Zakhem<sup>1</sup>,  
Boutros Finianos<sup>1,5</sup>, Gautier Zunquin<sup>5,6</sup>, Georges Baquet<sup>2</sup>,  
and Rawad El Hage<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Education, Faculty of Arts and Social Sciences,  
University of Balamand, El-Koura, Lebanon

<sup>2</sup> University of Lille, EA 7369 - URePSSS - Unité de Recherche  
Pluridisciplinaire Sport Santé Société, Ronchin, France

<sup>3</sup> I3MTO Laboratory, EA 4708, University of Orléans, 45067 Orléans, France

<sup>4</sup> DeVisu-Design, Visuel, Urbain, EA 2445, UPHF, Valenciennes, France  
antonio.pinti@uphf.fr

<sup>5</sup> EA 7369 - URePSSS - Unité de recherche pluridisciplinaire sport santé société,  
Université Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France

<sup>6</sup> Laboratoire Mouvement, Equilibre, Performance et Santé (UPRES EA 4445),  
Département STAPS, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Tarbes, France

**Abstract.** The aim of the current study was to explore the relationships between lower limb muscular power and bone variables (bone mineral content (BMC), bone mineral density (BMD), hip geometry indices and trabecular bone score (TBS)) in a group of young Lebanese adults. 29 young Lebanese men and 31 young Lebanese women whose ages range between 18 and 32 years participated in this study. Body weight and height were measured, and body mass index (BMI) was calculated. Body composition and bone variables were measured by DXA. DXA measurements were completed for the whole body (WB), lumbar spine (L2–L4), total hip (TH) and femoral neck (FN). Hip geometry parameters including cross-sectional area (CSA), cross-sectional moment of inertia (CSMI), section modulus (Z), strength index (SI) and buckling ratio (BR) were derived by DXA. Trabecular bone score was also derived by DXA. Horizontal jump (HJ), vertical jump, vertical jump maximum power, force-velocity maximum power and 20-m sprint performance were measured or calculated by using validated fitness tests. In men, fat mass percentage was negatively correlated to TH BMD, FN BMD, CSA, CSMI, Z and SI. In women, weight, BMI, lean mass and fat mass were positively correlated to WB BMC, CSMI and Z. Regarding physical performance variables, horizontal jump performance and force-velocity maximal power were positively correlated to TH BMD, FN BMD, CSA and Z in men. Vertical jump maximal power was positively correlated to WB BMC in women. 20-m sprint performance was negatively correlated to FN BMD, CSA, Z and SI in men. In conclusion, the current study suggests that force-velocity maximum power is a positive determinant of BMD and hip geometry indices in men but not in women.



**Keywords:** Muscular performance · Peak bone mass · DXA · Gender differences · Hip geometry

## 1 Introduction

Bone strength is influenced by several components such as bone mineral density (BMD), bone geometry, bone texture and bone microarchitecture [1–5]. BMD, hip geometry indices and trabecular bone score are indices of bone strength and can predict fracture risk in the elderly [6–17]. BMD remains the strongest predictor of bone strength and fracture risk [1–4]. Peak BMD attained at the third decade is considered as a strong predictor of fracture risk later in life [9–13]. Implementing strategies to increase peak BMD are useful for the prevention of osteoporosis [9–13]. Identifying determinants of peak BMD is clinically important especially in the Lebanese population in which mean BMD values are lower than American/European subjects [17–24]. This may be in part explained by low daily calcium intake and serum vitamin D levels as well as inactivity [25–31]. We have previously shown several positive correlations between several physical performance variables and BMD in several populations [32–41]. However, it is unclear whether the positive correlations between muscular power and bone variables in young adults are gender-specific. The aim of the current study was to explore the relationships between lower limb muscular power and bone variables (bone mineral content (BMC), BMD, hip geometry indices and TBS) in a group of young Lebanese adults.

## 2 Materials and Methods

### 2.1 Subjects and Study Design

Sixty young Lebanese adults whose ages ranged from 18 to 32 years voluntarily participated in the present study. They were divided into 2 groups: 29 young men and 31 young women. All participants were nonsmokers and had no history of major orthopedic problems or other disorders known to affect bone metabolism or physical tests of the study. Women who were pregnant, amenorrheic and/or taking medications that may affect bone and calcium metabolism (corticosteroid or anticonvulsant therapy) were excluded from the study. Other inclusion criteria included no diagnosis of comorbidities and no history of fracture. An informed written consent was obtained from the participants. All participants completed an interview about medical history including menstrual history and medication use. The work described has been carried out in accordance with the declaration of Helsinki (regarding human experimentation developed for the medical community by the World Medical Association).

### 2.2 Anthropometrical Measurements and Body Composition

Height and body weight were measured using a mechanic scale (precision of 100 g) and a standard stadiometer (upright position to the nearest 1 mm). The participants were weighed wearing light clothing and had their shoes removed. BMI was calculated

as body weight divided by height squared ( $\text{kg/m}^2$ ). Body composition (lean mass, fat mass and bone mineral content) was evaluated by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA; GE Healthcare, Lunar iDXA System, version 13.60).

### 2.3 Bone Variables

BMD measurements were completed for the whole body (WB), the lumbar spine (L2–L4), the total hip (TH) and the femoral neck (FN) using the instrument described earlier (DXA; GE Healthcare, Lunar iDXA System, version 13.60). Geometric indices of femoral neck (FN) strength [cross-sectional area (CSA), cross-sectional moment of inertia (CSMI), section modulus (Z), strength index (SI) and buckling ratio (BR)] were derived by DXA. Analyses of TBS based on gray level analysis of bidimensional DXA images were performed using the TBS iNsight software (version 2.1; Medimaps, Merignac, France). The same certified technician (holder of a Bachelor of Science in medical imaging sciences) performed all analyses using the same technique for all measurements. The coefficients of variation were <1% for BMC and BMD in our laboratory [32–41].

### 2.4 Physical Performance Variables

All subjects participated in a familiarizing session before evaluation. Testing was done on two non-consecutive days. All the assessments were performed in the following order. During day one, horizontal jump performance was assessed, vertical jump was measured by using the Sargent test and vertical jump maximal power was calculated by using the Lewis Formula [42], and lastly time of the twenty-meter sprint was measured by using photoelectric cells (BROWER Timing Systems) [43]. On the second day, the force-velocity test was performed on a cycle ergometer using a technique adopted from the study of Vandewalle et al. [44]. Force-velocity maximum power was accordingly calculated as previously described [44–46].

### 2.5 Statistical Analysis

The means and standard deviations were calculated for all clinical data and for the bone measurements. Comparisons between the 2 groups (men and women) were made after checking for Gaussian distribution. If Gaussian distribution was found, parametric unpaired *t*-tests were used. In other cases, Mann-Whitney *U*-tests were used. Correlations between clinical characteristics and bone data were given as Pearson correlation coefficients. Multiple linear regressions were used to test the relationships of BMD with age, force-velocity maximum power and fat mass, and  $r^2$  were reported. Data were analyzed with Number Cruncher Statistical System (NCSS, 2001; NCSS, Kaysville, UT). A level of significance of  $p < 0.05$  was used.

### 3 Results

#### 3.1 Clinical Characteristics and Bone Data and Physical Performance Variables of the Study Population

Age, BMI, L2–L4 BMD, SI and BR were not significantly different between the two groups. Body weight, height, lean mass, WB BMC, WB BMD, TBS, TH BMD, FN BMD, CSA, CSMI, Z, horizontal jump, vertical jump, vertical jump maximum power and force-velocity maximum power were significantly higher in men compared to women. Fat mass and fat mass percentage were higher in women compared to men. 20-m sprint performance was significantly different between the two groups (Table 1).

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

	Men (n = 29)	Women (n = 31)
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Age (years)	20.7 $\pm$ 3.2	21.5 $\pm$ 2.9
Weight (kg)	75.966 $\pm$ 11.746***	60.132 $\pm$ 10.550
Height (m)	1.74 $\pm$ 0.06***	1.61 $\pm$ 0.05
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.4 $\pm$ 3.9	22.9 $\pm$ 4.3
Lean mass (kg)	52.390 $\pm$ 11.164***	34.739 $\pm$ 3.757
Fat mass (kg)	20.890 $\pm$ 9.513***	23.331 $\pm$ 7.530
Fat mass (%)	27.5 $\pm$ 8.1***	38.8 $\pm$ 5.6
WB BMC (g)	2676 $\pm$ 455***	2062 $\pm$ 192
WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.165 $\pm$ 0.139**	1.077 $\pm$ 0.078
L2–L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.121 $\pm$ 0.488	1.135 $\pm$ 0.099
TBS	1.49 $\pm$ 0.09***	1.41 $\pm$ 0.06
TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.077 $\pm$ 0.129***	0.925 $\pm$ 0.098
FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.099 $\pm$ 0.149***	0.916 $\pm$ 0.102
CSA (mm <sup>2</sup> )	178 $\pm$ 26***	133 $\pm$ 15
CSMI (mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	14982 $\pm$ 3267***	8690 $\pm$ 2590
Z (mm <sup>3</sup> )	864 $\pm$ 166***	562 $\pm$ 126
SI	1.57 $\pm$ 0.46	1.71 $\pm$ 0.46
BR	3.46 $\pm$ 1.72	3.05 $\pm$ 1.02
Horizontal jump (m)	1.92 $\pm$ 0.33***	1.48 $\pm$ 0.47
Vertical jump (cm)	53.5 $\pm$ 8.7***	35.5 $\pm$ 5.0
Vertical jump P max (watts)	1195 $\pm$ 156***	773 $\pm$ 128
Force-velocity P max (watts)	731 $\pm$ 134***	404 $\pm$ 95
20 m sprint performance (s)	3.59 $\pm$ 0.35***	4.46 $\pm$ 0.45

SD: standard deviation; BMI: body mass index; WB: whole body; BMD: bone mineral density; L2–L4: lumbar spine; TBS: trabecular bone score; TH: total hip; FN: femoral neck; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio; P max: maximum power; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001.

### 3.2 Correlations Between Clinical Characteristics and Bone Data in Men

Age was negatively correlated to FN BMD but positively correlated to BR. Weight was negatively correlated to SI. Height was positively correlated to WB BMC but negatively correlated to TBS. Lean mass was positively correlated to WB BMD, CSMI and Z. Fat mass was negatively correlated to SI. Fat mass percentage was negatively correlated to TH BMD, FN BMD, CSA, CSMI, Z and SI (Table 2).

**Table 2.** Correlations between clinical characteristics and bone data in men.

	WB BMC (g)	WB BMD (kg/m <sup>2</sup> )	L2–L4 BMD (kg/m <sup>2</sup> )	TBS	TH BMD (kg/m <sup>2</sup> )	FN BMD (kg/m <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	CSMI (mm <sup>4</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	SI	BR
Age (years)	0.15	0.09	-0.13	0.10	-0.35	-0.39*	-0.25	0.12	-0.08	-0.36	0.54**
Weight (kg)	0.35	0.13	0.00	-0.05	-0.08	-0.09	-0.03	0.09	0.01	-0.42*	0.13
Height (m)	0.47**	0.18	0.00	-0.45*	0.00	0.09	0.25	0.37	0.27	-0.16	0.06
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.16	0.30	-0.02	0.08	-0.03	-0.06	-0.08	0.00	-0.05	-0.41	0.11
LM (kg)	0.34	0.38*	0.14	-0.07	0.21	0.25	0.34	0.43*	0.40*	0.00	0.09
FM (kg)	0.20	0.04	-0.16	-0.10	-0.17	-0.18	-0.24	-0.19	-0.23	-0.48**	0.16
FM %	-0.02	-0.21	-0.35	-0.18	-0.52**	-0.49**	-0.54**	-0.42*	-0.50**	-0.62***	0.22

WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L2–L4: Lumbar spine; TH: total hip; FN: femoral neck; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio; BMI: Body mass index; LM: lean mass; FM: fat mass; FM %: fat mass percentage; \*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

### 3.3 Correlations Between Physical Performance Variables and Bone Data in Men

Horizontal jump was positively correlated to TH BMD, FN BMD, CSA, Z and SI. Vertical jump was positively correlated to SI. Vertical jump maximum power was positively correlated to WB BMC. Force-velocity maximum power was positively correlated to WB BMD, L2–L4 BMD, TH BMD, FN BMD, CSA, CSMI and Z. 20-m sprint performance was negatively correlated to FN BMD, CSA, Z and SI (Table 3).

**Table 3.** Correlations between physical performance variables and bone data in men.

	WB BMC (g)	WB BMD (kg/m <sup>2</sup> )	L2–L4 BMD (kg/m <sup>2</sup> )	TBS	TH BMD (kg/m <sup>2</sup> )	FN BMD (kg/m <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	CSMI (mm <sup>4</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	SI	BR
HJ (m)	-0.05	0.30	0.23	0.02	0.47**	0.42*	0.41*	0.29	0.40*	0.46*	-0.30
Vertical jump (cm)	-0.04	0.16	0.20	0.12	0.36	0.30	0.31	0.18	0.31	0.52**	-0.19
Vertical jump P max (watts)	0.39*	0.25	0.12	-0.03	0.12	0.08	0.17	0.24	0.22	-0.16	0.01
Force-velocity P max (watts)	0.27	0.47**	0.39*	-0.02	0.60***	0.58***	0.55**	0.38*	0.49**	0.13	-0.33
20 m sprint performance (s)	0.06	-0.27	-0.15	0.04	-0.25	-0.42*	-0.45*	-0.32	-0.40*	-0.46*	0.27

WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L2–L4: Lumbar spine; TH: total hip; FN: femoral neck; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio; HJ: Horizontal jump; P max: maximum power; \*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001.



### 3.4 Correlations Between Clinical Characteristics and Bone Data in Women

Age was positively correlated to TBS, CSMI and Z. Weight was positively correlated to WB BMC, CSA, CSMI and Z. Height was negatively correlated to TBS but positively correlated to CSMI and Z. BMI was positively correlated to WB BMC, CSMI and Z. Lean mass was positively correlated to WB BMC, L2–L4 BMD, CSA, CSMI and Z. Fat mass was positively correlated to WB BMC, CSMI and Z. Fat mass percentage was positively correlated to WB BMC (Table 4).

**Table 4.** Correlations between clinical characteristics and bone data in women.

	WB BMC (g)	WB BMD (kg/m <sup>2</sup> )	L2–L4 BMD (kg/m <sup>2</sup> )	TBS	TH BMD (kg/m <sup>2</sup> )	FN BMD (kg/m <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	CSMI (mm <sup>4</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	SI	BR
Age (years)	0.31	0.30	0.16	0.45*	-0.27	-0.25	0.19	0.53**	0.46**	0.29	0.01
Weight (kg)	0.61***	0.26	0.33	0.16	-0.04	0.01	0.36*	0.49**	0.46**	-0.30	0.06
Height (m)	0.30	0.04	-0.11	-0.52**	-0.06	-0.05	0.29	0.41*	0.39*	-0.03	0.06
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.44**	0.18	0.33	0.39	-0.04	0.04	0.27	0.37*	0.37*	-0.27	-0.07
LM (kg)	0.61***	0.21	0.38*	0.18	0.11	0.09	0.44*	0.49**	0.49**	-0.15	0.08
FM (kg)	0.55**	0.24	0.26	0.14	-0.10	-0.03	0.30	0.46**	0.42*	-0.31	-0.02
FM %	0.42*	0.17	0.10	0.04	-0.17	-0.06	0.19	0.34	0.30	-0.33	-0.08

WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L2–L4: Lumbar spine; TH: total hip; FN: femoral neck; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio; BMI: Body mass index; LM: lean mass; FM: fat mass; FM %: fat mass percentage; \*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001.

### 3.5 Correlations Between Physical Performance Variables and Bone Data in Women

Horizontal jump was negatively correlated to CSMI and Z. Vertical jump maximum power was positively correlated to WB BMC but negatively correlated to SI. 20-m sprint performance was positively correlated to CSMI and Z (Table 5).

**Table 5.** Correlations between physical performance variables and bone data in women.

	WB BMC (g)	WB BMD (kg/m <sup>2</sup> )	L2–L4 BMD (kg/m <sup>2</sup> )	TBS	TH BMD (kg/m <sup>2</sup> )	FN BMD (kg/m <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	CSMI (mm <sup>4</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	SI	BR
HJ (m)	-0.35	0.03	-0.06	0.00	0.00	0.10	-0.32	-0.42*	-0.37*	-0.10	0.01
Vertical jump (cm)	-0.18	-0.1	-0.04	0.16	0.18	0.20	-0.06	-0.33	-0.29	-0.07	-0.02
Vertical jump P max (watts)	0.57***	0.27	0.32	0.25	0.05	0.12	0.35	0.34	0.33	-0.37*	0.04
Force-velocity P max (watts)	0.30	0.12	0.01	-0.14	0.08	0.14	0.24	0.13	0.15	-0.33	0.17
20 m sprint performance (s)	0.37	0.11	0.10	0.05	-0.20	-0.16	0.17	0.42*	0.36*	0.04	-0.17

WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L2–L4: Lumbar spine; TH: total hip; FN: femoral neck; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio; HJ: Horizontal jump; P max: maximum power; \*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001.

### 3.6 Multiple Linear Regression Models in Men

Force-velocity maximum power remained positively correlated to WB BMD, L2–L4 BMD, TH BMD and FN BMD after adjusting for age and fat mass (Table 6).

**Table 6.** Multiple linear regression models in men.

	Coefficient $\pm$ SE	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value
Dependent variable: WB BMD ( $R^2 = 0.27$ )			
Constant	0.602 $\pm$ 0.223	2.69	<i>p</i> = 0.012
Age (years)	0.010 $\pm$ 0.008	1.17	<i>p</i> = 0.25
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	2.98	<i>p</i> = 0.006
Fat mass (kg)	–0.000 $\pm$ 0.000	–0.76	<i>p</i> = 0.45
Dependent variable: L2–L4 BMD ( $R^2 = 0.21$ )			
Constant	0.870 $\pm$ 0.250	3.43	<i>p</i> = 0.002
Age (years)	0.002 $\pm$ 0.009	0.26	<i>p</i> = 0.79
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	2.41	<i>p</i> = 0.02
Fat mass (kg)	–0.000 $\pm$ 0.000	–1.24	<i>p</i> = 0.22
Dependent variable: TH BMD ( $R^2 = 0.47$ )			
Constant	0.860 $\pm$ 0.170	4.87	<i>p</i> < 0.001
Age (years)	–0.007 $\pm$ 0.006	–1.10	<i>p</i> = 0.27
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	4.00	<i>p</i> < 0.001
Fat mass (kg)	–0.000 $\pm$ 0.000	–1.05	<i>p</i> = 0.30
Dependent variable: FN BMD ( $R^2 = 0.47$ )			
Constant	0.920 $\pm$ 0.200	4.50	<i>p</i> < 0.001
Age (years)	–0.011 $\pm$ 0.007	–1.41	<i>p</i> = 0.16
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	3.80	<i>p</i> < 0.001
Fat mass (kg)	–0.000 $\pm$ 0.000	–0.94	<i>p</i> = 0.35

SE: Standard error; WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L2–L4: Lumbar spine; TH: total hip; FN: femoral neck.

### 3.7 Multiple Linear Regression Models in Women

Force-velocity maximum power was not correlated to BMD values after adjusting for age and fat mass (Table 7).

**Table 7.** Multiple linear regression models in women.

	Coefficient $\pm$ SE	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value
Dependent variable: WB BMD ( $R^2 = 0.12$ )			
Constant	0.840 $\pm$ 0.140	6.01	$p < 0.001$
Age (years)	0.008 $\pm$ 0.006	1.36	$p = 0.18$
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	0.64	$p = 0.52$
Fat mass (kg)	-0.000 $\pm$ 0.000	0.17	$p = 0.86$
Dependent variable: L2–L4 BMD ( $R^2 = 0.07$ )			
Constant	1.084 $\pm$ 0.180	6.01	$p < 0.001$
Age (years)	0.000 $\pm$ 0.000	0.04	$p = 0.96$
Force-velocity maximum power (watts)	-0.000 $\pm$ 0.000	-0.52	$p = 0.60$
Fat mass (kg)	0.000 $\pm$ 0.000	1.23	$p = 0.23$
Dependent variable: TH BMD ( $R^2 = 0.08$ )			
Constant	1.085 $\pm$ 0.180	6.03	$p < 0.001$
Age (years)	-0.008 $\pm$ 0.007	-1.09	$p = 0.28$
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	0.31	$p = 0.75$
Fat mass (kg)	-0.000 $\pm$ 0.000	-0.10	$p = 0.91$
Dependent variable: FN BMD ( $R^2 = 0.08$ )			
Constant	1.060 $\pm$ 0.180	5.81	$p < 0.001$
Age (years)	-0.009 $\pm$ 0.007	-1.17	$p = 0.25$
Force-velocity maximum power (watts)	0.000 $\pm$ 0.000	0.39	$p = 0.69$
Fat mass (kg)	0.000 $\pm$ 0.000	0.21	$p = 0.83$

SE: Standard error; WB: whole body; BMC: bone mineral content; BMD: bone mineral density; L2–L4: Lumbar spine; TH: total hip; FN: femoral neck.

## 4 Discussion

The current study conducted on a group of young Lebanese adults mainly shows that maximum power calculated by the force-velocity test is a positive determinant of BMD and hip geometry indices in men but not in women. The study also shows that lean mass is a positive determinant factor of BMD and hip geometry indices in women. Fat mass percentage was negatively correlated to several bone variables in men. Fat mass excess seems to negatively influence bone variables in men. Fat mass excess is usually associated with lower testosterone and growth hormone levels in men; this may in part explain the negative correlations between fat mass percentage and bone variables. Lean mass was positively correlated to WB BMD, CSMI and Z. Our results confirm those of previous studies conducted on men [32–34]. Regarding physical performance variables, maximum power evaluated by the force-velocity test was the strongest factor associated with bone variables in men. Importantly, the positive associations between force-velocity maximum power and BMD values remained significant after adjustment for age and fat mass. Accordingly, implementing strategies to reduce fat mass percentage and to increase lean mass and maximum power in men would be interesting to prevent osteopenia and osteoporosis later in life. Sprint performance was significantly correlated to FN BMD, CSA, Z and SI in men. Our results are in line with those of two

previous studies that studied the relationships between sprint performance and bone variables [43, 47]. Weight, BMI, lean mass and fat mass were positively correlated to WB BMC, CSMI and Z in women. These results are in accordance with those of several studies previously conducted on women [35–37]. Regarding physical performance variables, we noted only one positive association between vertical jump maximum power and WB BMC. Maximum power evaluated by the force-velocity test was not correlated to bone variables. This result is in contrast with those reported by Witzke et al. [48]. The reasons that may explain the different results obtained may be due to the age and characteristics of the studied population. Overall, lean mass was the strongest factor associated with bone variables in women. Consequently, implementing strategies to increase lean mass in women would be interesting to prevent osteopenia and osteoporosis later in life. The present study has several limitations such as its cross-sectional nature, the relatively low number of subjects, the two-dimensional nature of the DXA measurement, and the lack of measurement of many bone determinants (hormones, vitamin D and nutritional intakes). However, up to our knowledge, it is one of very few studies that aimed at studying the relationships between maximum power and bone health parameters in young Lebanese adults.

## 5 Conclusion

In conclusion, the current study suggests that lean mass is the strongest determinant of bone variables in adult women while maximum power evaluated by the force-velocity test seems to be the strongest determinant of bone variables in adult men. Physical training programs should be designed and executed accordingly in order to prevent the occurrence of osteopenia and osteoporosis later in life.

**Conflicts of Interest.** The authors state that they have no conflicts of interest.

## References

1. Beck, T.J.: Extending DXA beyond bone mineral density: understanding hip structure analysis. *Curr. Osteoporos. Rep.* **5**(2), 49–55 (2007)
2. Friedman, A.W.: Important determinants of bone strength: beyond bone mineral density. *J. Clin. Rheumatol.* **12**(2), 70–77 (2006)
3. Ammann, P., Rizzoli, R.: Bone strength and its determinants. *Osteoporos. Int.* **14**(Suppl 3), S13–S18 (2003)
4. Fonseca, H., Moreira-Gonçalves, D., Coriolano, H.J., Duarte, J.A.: Bone quality: the determinants of bone strength and fragility. *Sports Med.* **44**(1), 37–53 (2014)
5. Rizzoli, R., Bonjour, J.P., Ferrari, S.L.: Osteoporosis, genetics and hormones. *J. Mol. Endocrinol.* **26**(2), 79–94 (2001)
6. Beck, B.R., Snow, C.M.: Bone health across the lifespan—exercising our options. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **31**(3), 117–122 (2003)
7. Petit, M.A., Beck, T.J., Kontulainen, S.A.: Examining the developing bone: what do we measure and how do we do it? *J. Musculoskelet. Neuronal Interact.* **5**(3), 213–224 (2005)
8. Goltzman, D.: The aging skeleton. *Adv. Exp. Med. Biol.* **1164**, 153–160 (2019)



9. Min, S.K., et al.: Position statement: exercise guidelines to increase peak bone mass in adolescents. *J. Bone Metab.* **26**(4), 225–239 (2019)
10. Monge, M.C.: Optimizing bone health in adolescents. *Curr. Opin. Obstet. Gynecol.* **30**(5), 310–315 (2018)
11. Bonjour, J.P., Chevalley, T., Rizzoli, R., Ferrari, S.: Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Med. Sport Sci.* **51**, 64–80 (2007)
12. Bonjour, J.P., Chevalley, T., Ferrari, S., Rizzoli, R.: The importance and relevance of peak bone mass in the prevalence of osteoporosis. *Salud Publica Mex.* **51**(Suppl 1), S5–S17 (2009)
13. Bonjour, J.P., Chevalley, T.: Pubertal timing, bone acquisition, and risk of fracture throughout life. *Endocr. Rev.* **35**(5), 820–847 (2014)
14. El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Jaffré, C., Baddoura, R.: Bone mass in a group of Lebanese girls from Beirut and French girls from Orleans. *J. Med. Liban.* **59**(3), 131–135 (2011)
15. El Hage, R., Baddoura, R.: Anthropometric predictors of geometric indices of hip bone strength in a group of Lebanese postmenopausal women. *J. Clin. Densitom.* **15**(2), 191–197 (2012)
16. El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Baddoura, R.: Relative importance of lean mass and fat mass on bone mineral density in a group of Lebanese postmenopausal women. *J. Clin. Densitom.* **14**(3), 326–331 (2011)
17. Ayoub, M.L., et al.: DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* **100**(8), 855–858 (2014)
18. El Hage, R., Bachour, F., Sebaaly, A., Issa, M., Zakhem, E., Maalouf, G.: The influence of weight status on radial bone mineral density in Lebanese women. *Calcif. Tissue Int.* **94**(4), 465–467 (2014)
19. El Hage, R., et al.: Influence of age, morphological characteristics, and lumbar spine bone mineral density on lumbar spine trabecular bone score in Lebanese women. *J. Clin. Densitom.* **17**(3), 434–435 (2014)
20. Maalouf, G., et al.: Epidemiology of hip fractures in Lebanon: a nationwide survey. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* **99**(6), 675–680 (2013)
21. El Hage, R., Mina, F., Ayoub, M.L., Theunynck, D., Baddoura, R.: Relative importance of lean mass and fat mass on bone mineral density in a group of Lebanese elderly men. *J. Med. Liban.* **60**(3), 136–141 (2012)
22. El Hage, R., Theunynck, D., Rocher, E., Baddoura, R.: Geometric indices of hip bone strength in overweight and control elderly men. *J. Med. Liban.* **62**(3), 150–155 (2014)
23. El-Hajj Fuleihan, G., Baddoura, R., Awada, H., Salam, N., Salamoun, M., Rizk, P.: Low peak bone mineral density in healthy Lebanese subjects. *Bone* **31**(4), 520–528 (2002)
24. Arabi, A., et al.: Bone mineral density by age, gender, pubertal stages, and socioeconomic status in healthy Lebanese children and adolescents. *Bone* **35**(5), 1169–1179 (2004)
25. El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Jaffré, C., Benhamou, C.L.: Daily calcium intake and body mass index in a group of Lebanese adolescents. *J. Med. Liban.* **57**(4), 253–257 (2009)
26. Salamoun, M.M., et al.: Low calcium and vitamin D intake in healthy children and adolescents and their correlates. *Eur. J. Clin. Nutr.* **59**(2), 177–184 (2005)
27. Gannagé-Yared, M.H., Chemali, R., Yaacoub, N., Halaby, G.: Hypovitaminosis D in a sunny country: relation to lifestyle and bone markers. *J. Bone Miner. Res.* **15**(9), 1856–1862 (2000)
28. Gannagé-Yared, M.H., Chemali, R., Sfeir, C., Maalouf, G., Halaby, G.: Dietary calcium and vitamin D intake in an adult Middle Eastern population: food sources and relation to lifestyle and PTH. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* **75**(4), 281–289 (2005)

29. Fazah, A., Jacob, C., Moussa, E., El-Hage, R., Youssef, H., Delamarche, P.: Activity, inactivity and quality of life among Lebanese adolescents. *Pediatr. Int.* **52**(4), 573–578 (2010)
30. Nasreddine, L., et al.: Dietary, lifestyle and socio-economic correlates of overweight, obesity and central adiposity in Lebanese children and adolescents. *Nutrients* **6**(3), 1038–1062 (2014)
31. Naja, F., Hwalla, N., Itani, L., Karam, S., Sibai, A.M., Nasreddine, L.: A Western dietary pattern is associated with overweight and obesity in a national sample of Lebanese adolescents (13-19 years): a cross-sectional study. *Br. J. Nutr.* **114**(11), 1909–1919 (2015)
32. El Hage, Z., et al.: Bone mineral content and density in obese, overweight and normal weight adolescent boys. *J. Med. Liban.* **61**(3), 148–154 (2013)
33. El Hage, R.: Geometric indices of hip bone strength in obese, overweight, and normal-weight adolescent boys. *Osteoporos. Int.* **23**(5), 1593–1600 (2012)
34. Khawaja, A., et al.: Does muscular power predict bone mineral density in young adults? *J. Clin. Densitom.* **22**(3), 311–320 (2019)
35. Berro, A.J., et al.: Physical performance variables and bone parameters in a group of young overweight and obese women. *J. Clin. Densitom.* **22**(2), 293–299 (2019)
36. Al Rassy, N., et al.: The relationships between bone variables and physical fitness across the BMI spectrum in young adult women. *J. Bone Miner. Metab.* **37**(3), 520–528 (2019)
37. Nasr, R., et al.: Muscular maximal strength indices and bone variables in a group of elderly women. *J. Clin. Densitom.* (2018). pii: S1094-6950(18)30014-3. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.03.003>
38. El Khoury, G., et al.: Bone variables in active overweight/obese men and sedentary overweight/obese men. *J. Clin. Densitom.* **20**(2), 239–246 (2017)
39. El Khoury, C., et al.: Physical performance variables and bone mineral density in a group of young overweight and obese men. *J. Clin. Densitom.* **21**(1), 41–47 (2018)
40. Zakhem, E., et al.: Performance physique et densité minérale osseuse chez de jeunes adultes libanais. *J. Med. Liban.* **64**(4), 193–199 (2016)
41. El Hage, R., et al.: Maximal oxygen consumption and bone mineral density in a group of young Lebanese adults. *J. Clin. Densitom.* **17**(2), 320–324 (2014)
42. Harman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N., Rosenstein, R.M., Kraemer, W.J.: Estimation of human power output from vertical jump. *J. Strength Cond. Res.* **5**(3), 116–120 (1991)
43. 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.* **20**(1), 53–61 (2020)
44. Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., Monod, H.: Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer Correlation with the height of a vertical jump. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **56**(6), 650–656 (1987)
45. Vandewalle, H., Pérès, G., Monod, H.: Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med.* **4**(4), 268–289 (1987)
46. Driss, T., Vandewalle, H.: The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *Biomed. Res. Int.* **2013**, 589361 (2013)
47. Vicente-Rodriguez, G., Dorado, C., Perez-Gomez, J., Gonzalez-Henriquez, J.J., Calbet, J.A.: Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone* **35**(5), 1208–1215 (2004)
48. Witzke, K.A., Snow, C.M.: Lean body mass and leg power best predict bone mineral density in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* **31**(11), 1558–1563 (1999)

**Étude préliminaire 3 : Relations entre la détente  
verticale et les indices de résistance osseuse du col  
fémoral chez un groupe de jeunes femmes**

## 1. Résumé

Le but de cette étude était d'explorer les relations entre la détente verticale et les indices de résistance osseuse du col du fémur (indice de force en compression (CSI), indice de force en flexion (BSI) et indice de forces aux contraintes (ISI)) chez un groupe de jeunes femmes. 206 jeunes femmes (18 à 35 ans) ont participé à cette étude. Le poids et la taille ont été mesurés, et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. La composition corporelle, le contenu minéral osseux (CMO), la densité minérale osseuse (DMO) et le score de l'os trabéculaire (TBS) ont été déterminés pour chaque individu par absorptiométrie biphotonique à rayons X à double énergie (DXA). Les indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI) ont été calculés. La détente verticale a été évaluée à l'aide d'un test de terrain valide (test de Sargent), et la puissance maximale (P max, en watts) des membres inférieurs a été calculée en conséquence. La détente verticale était positivement corrélée au CSI ( $r = 0,36$  ;  $p < 0,001$ ), au BSI ( $r = 0,30$  ;  $p < 0,001$ ) et à l'ISI ( $r = 0,33$  ;  $p < 0,001$ ). Après ajustement pour le poids, la détente verticale est restée positivement corrélée au CSI ( $p = 0,026$ ). Les corrélations entre la détente verticale et les variables osseuses ont disparu après ajustement pour la masse grasse. La présente étude suggère que la détente verticale est un déterminant positif des indices de résistance osseuse du col fémoral chez les jeunes femmes.

Mots-clés : Détente verticale ; DXA ; Masse osseuse maximale ; Ostéoporose.



# Relationships Between Vertical Jump and Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Women

Anthony Khawaja<sup>1,2</sup>, Pierre Kamlé<sup>1,3</sup>, Elie Maliha<sup>1,4</sup>, Ghassan Maalouf<sup>4</sup>,  
Hechmi Toumi<sup>3</sup>, Antonio Pinti<sup>5</sup>✉, and Rawad El Hage<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Education, Division of Education, Faculty of Arts and Sciences,  
University of Balamand, El-Koura, Lebanon

<sup>2</sup> Faculty of Sport Sciences, Antonine University, Mejdlaya-Zgharta, Lebanon  
<sup>3</sup> I3MTO, Université d'Orléans, E4708 Orléans, France

<sup>4</sup> Faculty of Medicine, Bellevue University Medical Center, Saint Joseph University,  
Mansourieh, Lebanon

<sup>5</sup> DeVisu, Design, Visuel, Urbain, UPHF, EA2445 Valenciennes, France  
antonio.pinti@uphf.fr

**Abstract.** The purpose of this study was to investigate the relationships between vertical jump and composite indices of femoral neck strength (Compression strength index (CSI), bending strength index (BSI) and impact strength index (ISI)) in a group of young women. 206 young women (18 to 35 years) voluntarily participated in this study. Weight and height were measured, and body mass index (BMI) was calculated. Body composition, bone mineral content (BMC), bone mineral density (BMD) and trabecular bone score (TBS) were determined for each individual by Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). Composite indices of femoral neck strength (CSI, BSI and ISI) were calculated. Vertical jump was evaluated using a validated field test (Sargent test), and maximum power (P max, in watts) of the lower limbs was calculated accordingly. Vertical jump was positively correlated to CSI ( $r = 0.36$ ;  $p < 0.001$ ), BSI ( $r = 0.30$ ;  $p < 0.001$ ) and ISI ( $r = 0.33$ ;  $p < 0.001$ ). After adjusting for weight, vertical jump remained positively correlated to CSI ( $p = 0.026$ ). The correlations between vertical jump and bone variables disappeared after adjusting for fat mass. The current study suggests that vertical jump is a positive determinant of composite indices of femoral neck strength in young women.

**Keywords:** Vertical jump · DXA · Peak bone mass · Osteoporosis

## 1 Introduction

Osteoporosis is a global public health problem, most common in postmenopausal women [1]. It is estimated that 15% of women suffer from osteoporosis around the age of 50; 30% around the age of 70; and 40% around the age of 80 [1]. Peak bone mass is a major determinant of bone mass and the risk of subsequent fracture [2]. A 10% increase in

© Springer Nature Switzerland AG 2021

I. Rojas et al. (Eds.): BIOMESIP 2021, LNCS 12940, pp. 27–38, 2021.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-88163-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88163-4_3)



peak bone mass can delay the onset of osteoporosis by 13 years [3]. Increasing the BMD peak by 10% reduces the risk of fracture by 50% [3–5]. Several interconnected factors influence the build-up of bone mass during growth [6]. Physiological determinants of peak bone mass include heredity, vitamin D concentrations, calcium intake, protein intake, endocrine factors (sex steroids, IGF-1, 1.25(OH)2D) and mechanical stresses such as physical activity and body weight [6]. Physical activity has been considered an important factor in the prevention of osteoporosis [7]. Physical activity practice is considered the best preventive measurement against the decrease in BMD with age [7]. However, the mechanisms by which physical activity affects bone density are complex [7]. They are not yet fully understood, but they start with a mechanical stimulus which is relayed by the osteocytes [7]. It is recommended to practice regular physical activity throughout life [7]. Vigorous muscle exercise appears to be the most effective type of physical activity with a positive effect on BMD [7]. The regular practice of physical activities characterized by significant mechanical stress stimulates bone formation and improves BMD in the most solicited sites [8, 9]. In fact, according to the Frost theory [10] known as the mechanostat, the resistance of the bone adapts to the mechanical stresses applied to it. In addition, exercise that exerts high mechanical stresses on bone such as resistance training or structured jump-training, increases BMD in pre- and post-menopausal women [11]. Several studies have shown a significant correlation between BMD and the performances obtained in some physical tests used in current sports practice [12–15]. A recent study found that vertical jump, maximum power of the lower limbs, and 1-RM half-squat are positively correlated with bone variables in overweight and obese adult women [16]. Similarly, another recent study demonstrated a positive association between vertical jump, maximum power and bone variables in a group of young adults [17].

BMD measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is considered as the reference standard to diagnose osteoporosis [18] and the best determinant of bone strength [19]. However, only 50–70% of bone strength can be explained by BMD [20]. Also, hip bone strength is also influenced by other factors such as femoral neck (FN) width and bending strength [21, 22]. Karlamangla et al. [22] have examined the prediction of incident hip fracture risk by composite indices of FN strength (compression strength index [CSI], bending strength index [BSI], and impact strength index [ISI]) constructed from DXA scans of the hip. These indices integrate FN size and body size with bone density [23]. CSI, BSI, and ISI reflect the ability of the FN to withstand axial compressive and bending forces and to absorb energy from an impact [23]. Furthermore, these indices have been shown to improve hip fracture risk and bone strength assessments in the elderly [22–24].

Many previous studies conducted on young adults have found that body weight, BMI and fat mass are negatively correlated to composite indices of femoral neck strength while physical activity levels are positive determinants of these bone indices [25–32]. In accordance with these results, two previous studies have shown positive associations between physical activity level and CSI, BSI and ISI [33, 34]. In the study conducted by Sardinha et al. [33] on prepubertal children, the results showed that vigorous physical activity is positively associated with CSI, BSI, and ISI values. Mori et al. [34] conducted a study on adult women, and the results demonstrated that a greater physical activity

level is associated with higher composite indices of FN strength. Moreover, a recent study found that vertical jump is positively correlated with CSI and ISI in middle-aged men [32]. However, the relationship between vertical jump and composite indices of femoral neck strength in young women needs to be elucidated. The purpose of this study was to investigate the relationships between vertical jump and composite indices of femoral neck strength in a group of young women. We hypothesized that vertical jump would be significantly associated with composite indices of femoral neck strength in this population. The identification of new determinants of composite indices of femoral neck strength in young women would allow screening and early management of future cases of osteoporotic fractures.

## **2 Material and Methods**

### **2.1 Subjects and Study Design**

Two hundred and six young women whose ages ranged from 18 to 35 years voluntarily participated in the present study. All participants were non-smokers and had no history of major orthopedic problems or other disorders known to affect bone metabolism. Pregnant women, amenorrheic women, and those taking medications that may affect bone and calcium metabolism (corticosteroid or anticonvulsant therapy) were excluded from the study. All participants completed an interview about medical history including menstrual history and medication use. The work described has been carried out in accordance with the declaration of Helsinki (regarding human experimentation developed for the medical community by the World Medical Association). Other inclusion criteria included no diagnosis of comorbidities and no history of fracture. An informed written consent was obtained from the participants.

### **2.2 Anthropometrics**

Height (in centimeters) was measured in the upright position to the nearest 1mm with a standard stadiometer. Body weight (in kilograms) was measured on a mechanic scale with a precision of 100 g. Subjects were weighed wearing only underclothes. Body mass index (BMI) was calculated as body weight divided by height squared (in kilogram per square meter) [35]. Body composition including lean mass (LM; Kg) and fat mass (FM; %, Kg) was evaluated by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA; GE Healthcare, Madison, WI).

### **2.3 Bone Variables**

BMC (in grams) and BMD (in grams per square centimeter) were determined for each individual by Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA; GE Healthcare, Madison, WI) at the whole body (WB), lumbar spine (L1-L4), total hip (TH), and femoral neck (FN; GE Healthcare). L1-L4 TBS was also evaluated by DXA [36–38]. The TBS is derived from the texture of the DXA image and has been shown to be related to bone microarchitecture and fracture risk. The TBS score can assist the healthcare professional in assessing

fracture risk [37, 38]. Composite indices of femoral neck strength (CSI, BSI, ISI) were calculated [22–24].

The ability of the femoral neck to withstand compressive and bending forces proportional to body weight can be approximated by the following indices: Compression strength index = (FN BMD \* femoral neck width) / body weight, and Bending strength index = (FN BMD \* femoral neck width<sup>2</sup>) / (hip axis length \* body weight). The ability of the femoral neck to absorb the energy of impact in a fall from standing height is given by: Impact strength index = (FN BMD \* femoral neck width \* hip axis length) / (body height \* body weight). In our laboratory, the coefficients of variation were less than 1% for BMC and BMD [39–42]. The same certified technician performed all analyses using the same technique for all measurements.

## 2.4 Vertical Jump

The vertical jump was evaluated using a field test (Sargent test). Two main parameters were retained: vertical jump performance (cm) and power (w). The subjects performed three jumps with 2 min of recovery between jumps. The highest vertical jump was selected. Maximum power (P max, in watts) of the lower limbs was calculated [43].

$P \text{ max (w)} = \sqrt{g/2} * \text{body weight (kg)} * \sqrt{H} * 9.81$ ; g is equal to 9.81 m/s<sup>2</sup> and H is vertical jump height in meters.

## 2.5 Statistical Analysis

The means and standard deviations were calculated for all clinical data and for the bone measurements. Associations between vertical jump and bone variables were given as Pearson correlation coefficients, and r values were reported. Multiple linear regression analysis models were used to test the relationships of vertical jump and FM with bone variables as well as the relationships of vertical jump and weight with bone variables, and r<sup>2</sup> values were reported. Statistical analyses were performed using the SigmaStat 3.1 Program (Jandel Corp., San Rafael, CA). A level of significance of  $p < 0.05$  was used.

# 3 Results

## 3.1 Clinical Characteristics and Bone Data of the Study Population

Age, weight, height, BMI, LM, FM, FM percentage, bone variables, vertical jump and maximum power are shown in Table 1.



**Table 1.** Clinical Characteristics of the Study Population.

Characteristics	Mean $\pm$ SD	Range
Age (yr)	24.0 $\pm$ 3.9	18 – 35
Weight (kg)	65.0 $\pm$ 14.0	43 – 114
Height (m)	1.61 $\pm$ 0.06	1.44 – 1.81
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.8 $\pm$ 5.0	16.8 – 42.4
Lean Mass (kg)	38.412 $\pm$ 6.399	28.219 – 67.674
Fat Mass (kg)	24.673 $\pm$ 9.159	5.667 – 53.932
Fat Mass %	36.6 $\pm$ 6.7	9.5 – 51.7
WB BMC (g)	2241 $\pm$ 325	1695 – 3982
WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.086 $\pm$ 0.101	0.895 – 1.479
L1-L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.144 $\pm$ 0.127	0.817 – 1.522
L1-L4 TBS	1.425 $\pm$ 0.102	1.128 – 1.744
TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.977 $\pm$ 0.130	0.695 – 1.457
FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.956 $\pm$ 0.144	0.625 – 1.574
CSI (g/kg-m)	4.735 $\pm$ 0.918	2.345 – 8.589
BSI (g/kg-m)	1.471 $\pm$ 0.392	0.574 – 4.032
ISI (g/kg-m)	0.299 $\pm$ 0.055	0.145 – 0.468
Vertical jump (m)	0.166 $\pm$ 0.084	0.040 – 0.600
Maximum power (w)	547 $\pm$ 138	264 – 958

BMI, body mass index; WB, whole body; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; TBS, trabecular bone score; L1-L4, Lumbar spine; TH, total hip; FN, femoral neck; CSI, compression strength index; BSI, bending strength index; ISI, impact strength index; SD, standard deviation.

### 3.2 Correlations Between Clinical Characteristics and Bone Variables

Vertical jump was positively correlated to compression strength index (CSI) ( $r = 0.36$ ;  $p < 0.001$ ), bending strength index (BSI) ( $r = 0.30$ ;  $p < 0.001$ ) and impact strength index (ISI) ( $r = 0.33$ ;  $p < 0.001$ ). Maximum power was positively correlated to WB BMC ( $r = 0.40$ ;  $p < 0.001$ ), WB BMD ( $r = 0.18$ ;  $p < 0.05$ ), L1-L4 BMD ( $r = 0.17$ ;  $p < 0.05$ ), TH BMD ( $r = 0.18$ ;  $p < 0.05$ ) and FN BMD ( $r = 0.26$ ;  $p < 0.01$ ). LM was positively correlated to WB BMC ( $r = 0.82$ ;  $p < 0.001$ ), WB BMD ( $r = 0.68$ ;  $p < 0.001$ ), L1-L4 BMD ( $r = 0.39$ ;  $p < 0.001$ ), L1-L4 TBS ( $r = 0.21$ ;  $p < 0.01$ ), TH BMD ( $r = 0.58$ ;  $p < 0.001$ ) and FN BMD ( $r = 0.60$ ;  $p < 0.001$ ). LM was negatively correlated to CSI ( $r = -0.38$ ;  $p < 0.001$ ), BSI ( $r = -0.33$ ;  $p < 0.001$ ) and ISI ( $r = -0.38$ ;  $p < 0.001$ ). FM was positively correlated to WB BMC ( $r = 0.41$ ;  $p < 0.001$ ), WB BMD ( $r = 0.42$ ;  $p < 0.001$ ), L1-L4 BMD ( $r = 0.23$ ;  $p < 0.001$ ), L1-L4 TBS ( $r = 0.22$ ;  $p < 0.01$ ), TH BMD ( $r = 0.33$ ;  $p < 0.001$ ) and FN BMD ( $r = 0.31$ ;  $p < 0.001$ ). FM was negatively correlated to CSI ( $r = -0.63$ ;  $p < 0.001$ ), BSI ( $r = -0.40$ ;  $p < 0.001$ ) and ISI ( $r = -0.59$ ;  $p < 0.001$ ) (Table 2).

**Table 2.** Correlation Coefficients between Clinical Characteristics and bone variables.

	WB BMC (g)	WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	L1-L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	L1-L4 TBS	TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	CSI (g/kg-m)	BSI (g/kg-m)	ISI (g/kg-m)
Age (yr)	0.03	0.03	-0.01	-0.11	-0.11	-0.15*	-0.17*	-0.08	-0.19**
Weight(kg)	0.67***	0.62***	0.35***	0.29***	0.51***	0.52***	-0.53***	-0.40***	-0.54***
Height (m)	0.57***	0.27***	0.13	-0.15*	0.23***	0.33***	0.06	-0.05	-0.01**
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.47***	0.53***	0.32***	0.36***	0.44***	0.41***	-0.59***	-0.39***	-0.56***
FM (kg)	0.41***	0.42***	0.23***	0.22**	0.33***	0.31***	-0.63***	-0.40***	-0.59***
FM %	0.08	0.18**	0.11	0.18**	0.14*	0.11	-0.61***	-0.35***	-0.57***
LM (Kg)	0.82***	0.68***	0.39***	0.21**	0.58***	0.60***	-0.38***	-0.33***	-0.38***
Vertical jump (m)	-0.04	-0.13	-0.01	-0.15	-0.1	-0.05	0.36***	0.30***	0.33***
Maximum power (w)	0.40***	0.18*	0.17*	0.05	0.18*	0.26**	-0.05	-0.04	-0.05

BMI, body mass index; FM, fat mass; LM, lean mass; WB, whole body; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; TBS, trabecular bone score; L1-L4, Lumbar spine; TH, total hip; FN, femoral neck; CSI, compression strength index; BSI, bending strength index; ISI, impact strength index. \* $p < 0.05$ . \*\* $p < 0.01$ . \*\*\* $p < 0.001$ .

### 3.3 Multiple Linear Regressions

After adjusting for weight, vertical jump remained positively correlated to CSI ( $p = 0.026$ ). After adjusting for vertical jump, weight remained negatively correlated to CSI ( $p < 0.001$ ), BSI ( $p < 0.001$ ) and ISI ( $p < 0.001$ ). Weight was a stronger determinant of CSI than vertical jump (Table 3). The correlations between vertical jump and bone variables disappeared after adjusting for FM. FM remained negatively correlated to CSI ( $p < 0.001$ ), BSI ( $p < 0.001$ ) and ISI ( $p < 0.001$ ) after adjusting for vertical jump (Table 4).

**Table 3.** Multiple Linear Regression models with vertical jump and weight as independent variables

	Coefficient $\pm$ SE	$t$ value	$p$ value
Dependent variable: CSI ( $r^2 = 0.617$ )			
Constant	6.822 $\pm$ 0.398	17.153	< 0.001
Vertical Jump (w)	1.677 $\pm$ 0.748	2.244	0.026
Weight (kg)	-0.0380 $\pm$ 0.00505	-7.516	< 0.001
Dependent variable: BSI ( $r^2 = 0.487$ )			
Constant	2.078 $\pm$ 0.182	11.391	< 0.001
Vertical Jump (w)	0.553 $\pm$ 0.342	1.616	0.108
Weight (kg)	-0.0115 $\pm$ 0.00230	-5.024	< 0.001
Dependent variable: ISI ( $r^2 = 0.591$ )			
Constant	0.434 $\pm$ 0.0274	15.827	< 0.001
Vertical Jump (w)	0.0866 $\pm$ 0.0514	1.684	0.095
Weight (kg)	-0.00237 $\pm$ 0.000345	-6.864	< 0.001

CSI, compression strength index; BSI, bending strength index; ISI, impact strength index.

**Table 4.** Multiple linear regression models with vertical jump and fat mass as independent variables.

	Coefficient $\pm$ SE	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Dependent variable: CSI ( $r^2 = 0.643$ )			
Constant	5.969 $\pm$ 0.271	22.025	< 0.001
Vertical Jump (w)	1.143 $\pm$ 0.747	1.529	0.128
Fat Mass (kg)	-0.0606 $\pm$ 0.00737	-8.223	< 0.001
Dependent variable: BSI ( $r^2 = 0.469$ )			
Constant	1.745 $\pm$ 0.129	13.497	< 0.001
Vertical Jump (w)	0.520 $\pm$ 0.353	1.474	0.143
Fat Mass (kg)	-0.0164 $\pm$ 0.00352	-4.662	< 0.001
Dependent variable: ISI ( $r^2 = 0.610$ )			
Constant	0.378 $\pm$ 0.0189	20.040	< 0.001
Vertical Jump (w)	0.0628 $\pm$ 0.0515	1.219	0.225
Fat Mass (kg)	-0.00376 $\pm$ 0.000514	-7.318	< 0.001

CSI, compression strength index; BSI, bending strength index; ISI, impact strength index.

## 4 Discussion

The current study conducted on a group of young women mainly shows that vertical jump is positively correlated to CSI, BSI and ISI. The strengths of the associations between vertical jump and composite indices of femoral neck strength were low to moderate in this population. These results highlight the positive influence of vertical jump performance of the lower limbs on composite indices of femoral neck strength in young women. After adjusting for weight, vertical jump remained positively correlated to CSI. Weight was a stronger determinant of CSI than vertical jump. The correlations between vertical jump and composite indices of femoral neck strength disappeared after adjusting for FM. Our results are in accordance with those of a previous recent study conducted on middle-aged men that found that vertical jump is positively correlated to CSI and ISI [32]. Accordingly, our results highlight the importance of increasing vertical jump performance of the lower limbs to prevent osteoporotic fractures later in life. The vertical jump test highlights the relative power. Accordingly, the relationships between vertical jump performance and composite indices of femoral neck strength may be influenced by the weight status of the studied population. Our study showed that maximum power is positively correlated to BMC and BMD values. In contrast, we did not find any association between maximum power and composite indices of femoral neck strength. The strengths of the associations between maximum power and bone variables were poor to moderate in our study. These results highlight the positive influence of maximum power of the lower limbs on BMC and BMD in young women. Hence, our results accentuate the importance of increasing maximum power of the lower limbs to prevent osteoporosis later in life. Our results are in line with those of many previous



studies conducted on young adults [16, 17, 32, 44, 45]. A recent study has demonstrated a positive correlation between maximum power and BMC, BMD and geometric indices of hip bone strength (CSA, CSMI, and Z) in middle-aged men [32]. However, this study did not find any correlation between maximum power and composite indices of femoral neck strength [32]. A recent study has shown that maximum power is a positive determinant of many bone variables in a group of young overweight and obese women [16]. In line with these results, a recent study has found a positive correlation between maximum power and WB BMC, WB BMD, FN CSA and FN CSMI in young men [17]. This study also found a positive correlation between maximum power and WB BMC, WB BMD, TH BMD, FN BMD, FN CSA, FN CSMI and FN Z in young women [17]. After adjusting for LM, maximum power remained significantly correlated to WB BMC, L1-L4 BMC, TH BMC and FN CSMI in young men, whereas the correlation between maximum power and bone variables disappeared after adjusting for LM in young women [17]. A previous study has demonstrated a positive correlation between maximum power and BMD in both young women and men [44]. Another previous study has shown a positive correlation between maximum power and WB BMC, WB BMD, L1-L4 BMD, TH BMD, and FN Z in a group of young overweight and obese men [44]. However, these correlations disappeared after adjusting for LM [45]. Our results confirm the positive importance of LM on bone health in young adults. LM was positively correlated to WB BMC, BMD and L1-L4 TBS. On the other hand, LM was negatively correlated to CSI, BSI and ISI. Furthermore, LM appears to be a positive predictor of BMC, BMD and TBS in young women. For this reason, implementing strategies to increase LM is important for young women to avoid the occurrence of osteoporosis later in life. A recent study has shown that LM is a positive determinant of BMD, CSA, CSMI, Z and ISI in young overweight men [30]. Our results are consistent with those of many previous studies that have shown that LM is an important determinant of WB BMC, FN CSA and FN Z [45–52]. A cross-sectional study conducted on a group of 70 osteoporotic postmenopausal women has demonstrated a significant correlation between LM and bone variables such as BMC and BMD [53]. It has suggested that FN BMD and femur BMD were correlated to LM [53]. A previous study conducted on a group of young adults has shown that LM was positively correlated to WB BMC and WB BMD in both young men and women [44]. The present study shows that FM is positively correlated to WB BMC, BMD and L1-L4 TBS. It also shows that FM is negatively correlated to CSI, BSI and ISI. After adjusting for vertical jump, FM remained negatively correlated to CSI, BSI and ISI. Our results are in line with those of two studies [27, 54] which suggested that obesity is associated with lower CSI, BSI, and ISI values in young men and women. Accordingly, implementing strategies to reduce FM is important in women to avoid the occurrence of osteoporotic fractures later in life. A similar conclusion has been found in a study conducted on children [55]. In addition, a recent study [30] conducted on young overweight men has demonstrated a negative association between FM and CSI and BSI. Another recent study [31] conducted on the same population has found that FM is negatively associated with CSI, BSI and ISI. Similarly, a study [32] conducted on middle-aged men has shown that FM is negatively associated with CSI and ISI. Hence, fat mass seems to be a negative determinant of composite indices of femoral neck strength in both genders. Despite its originality, the present study had some limitations. First, the cross-sectional nature of the

present study is a limitation because it cannot evaluate the confounding variables. The second limitation is the 2-dimensional nature of DXA [56, 57]. Finally, maximum power was not directly measured but indirectly calculated using a formula after performing a vertical jump test. However, to our knowledge, the present study is one of few studies that aimed at exploring the relationships between vertical jump and composite indices of femoral neck strength in young women. Vertical jump and maximum power are easily calculated when performing a simple physical test.

## 5 Conclusion

In conclusion, the current study suggests that vertical jump is a positive determinant of composite indices of femoral neck strength (CSI, BSI and ISI) in young women. Our study is one of very few studies that demonstrated positive correlations between vertical jump and composite indices of femoral neck strength in young women. Thus, implementing strategies to increase vertical jump performance of the lower limbs in young women may be useful for preventing osteoporotic fractures later in life. Finally, our study may be useful for the prevention and early detection of osteoporosis and osteopenia.

**Acknowledgments.** This study was supported by a grant from the research council of the University of Balamand.

**Disclosure of Interest.** None of the authors reported a conflict of interest related to the study.

## References

1. Shakil, A., Gimpel, N.E., Rizvi, H., et al.: Awareness and prevention of osteoporosis among south asian women. *J. Community Health*. **35**, 392–397 (2010)
2. Keen, R.W.: Pathophysiology of osteoporosis. In: Clunie, G., Keen, R.W. *Osteoporosis*, 2nd edn. Oxford Rheumatology Library. United Kingdom (2014)
3. Rizzoli, R., Bianchi, M.L., Garabédian, M., McKay, H.A., Moreno, L.A.: Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone* **46**(2), 294–305 (2010)
4. Hernandez, C.J., Beaupré, G.S., Carter, D.R.: 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 (2003)
5. Melton, L.J., Atkinson, E.J., Khosla, S., Oberg, A.L., Riggs, B.L.: Evaluation of a prediction model for long-term fracture risk. *J. Bone Miner. Res.* **20**(4), 551–556 (2005)
6. Bonjour, J.P., Chevalley, T., Ferrari, S., Rizzoli, R.: The importance and relevance of peak bone mass in the prevalence of osteoporosis. *Salud Publica Mex.* **51**(1), S5–S17 (2009)
7. Khawaji, M., Astermark, J., Akesson, K., Berntorp, E.: Physical activity for prevention of osteoporosis in patients. *Haemophilia* **16**, 495–501 (2010)
8. Ainsworth, B.E., Youmans, C.P.: Tools for physical activity counseling in medical practice. *Obes. Res.* **10**(1), 69S–75S (2002)

9. Nikander, R., Sievänen, H., Heinonen, A., Kannus, P.: Femoral neck structure in adult female athletes subjected to different loading modalities. *J. Bone Miner. Res.* **20**, 520–528 (2005)
10. Frost, H.M.: Bone's mechanostat: a 2003 update. *Anat. Rec. A Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* **275**, 1081–1101 (2003)
11. Giangregorio, L.M., et al.: Too Fit to Fracture: exercise recommendations for individuals with osteoporosis or osteoporotic vertebral fracture. *Osteoporos. Int.* **25**, 821–835 (2014)
12. Vicente-Rodriguez, G., Dorado, C., Perez-Gomez, J., Gonzalez-Henriquez, J.J., Calbet, J.A.: Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone* **35**, 1208–1215 (2004)
13. Dixon, W.G., et al.: Low grip strength is associated with bone mineral density and vertebral fracture in women. *Rheumatology (Oxford)* **44**, 642–646 (2005)
14. Sirola, J., Rikkonen, T., Tuppurainen, M., Jurvelin, J.S., Alhava, E., Kröger, H.: Grip strength may facilitate fracture prediction in perimenopausal women with normal BMD: a 15-year population based study. *Calcif. Tissue Int.* **83**, 93–100 (2008)
15. Sherk, V.D., Palmer, I.J., Bembien, M.G., Bembien, D.A.: Relationships between body composition, muscular strength, and bone mineral density in estrogen-deficient postmenopausal women. *J. Clin. Densitom.* **12**, 292–298 (2009)
16. Berro, A.J., et al.: Physical performance variables and bone parameters in a group of young overweight and obese women. *J. Clin. Densitom.* **22**(2), 293–299 (2019)
17. Khawaja, A., et al.: Does muscular power predict bone mineral density in young adults? *J. Clin. Densitom.* **22**(3), 311–320 (2019)
18. Kanis, J.A., Kanis, J.A.: Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: Synopsis of a WHO report. *Osteoporosis Int* **4**, 368–381 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF01622200>
19. Kanis, J.A., McCloskey, E.V., Johansson, H., Oden, A., Melton, L.J., Khaltayev, N.: A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone* **42**(3), 467–475 (2008)
20. Stone, K.L., et al.: BMD at multiple sites and risk of fracture of multiple types: long-term results from the study of osteoporotic fractures. *J. Bone Miner. Res.* **18**, 1947–1954 (2003)
21. Black, D.M., et al.: Proximal femoral structure and the prediction of hip fracture in men: a large prospective study using QCT. *J. Bone Miner. Res.* **23**, 1326–1333 (2008)
22. Karlamangla, A.S., Barrett-Connor, E., Young, J., Greendale, G.A.: Hip fracture risk assessment using composite indices of femoral neck strength: the Rancho Bernardo study. *Osteoporos. Int.* **15**, 62–70 (2004). <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1513-1>
23. Yu, N., et al.: Evaluation of compressive strength index of the femoral neck in Caucasians and Chinese. *Calcif. Tissue Int.* **87**, 324–332 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00223-010-9406-8>
24. Ayoub, M.L., et al.: DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* **100**, 855–858 (2014)
25. El Hage, R.: Composite indices of femoral neck strength in adult female soccer players. *J. Clin. Densitom.* **17**, 212–213 (2014)
26. El Hage, R., Zakhem, E., Zunquin, G., Theunynck, D., Moussa, E., Maaloufet, G.: Does soccer practice influence compressive strength, bending strength, and impact strength indices of the femoral neck in young men? *J. Clin. Densitom.* **17**(1), 213–214 (2014)
27. Berro A, Fayad N, Pinti A, et al. 2017 Maximal oxygen consumption and composite indices of femoral neck strength in a group of young women. In: International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Springer, Cham:369–75 [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56148-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56148-6_32)
28. Khoury, C.E.I., et al.: Decreased Composite Indices of Femoral Neck Strength in Young Obese Men. *J. Clin. Densitom.* **20**(2), 268–270 (2017)
29. Khoury, G.E., et al.: Maximal oxygen consumption and composite indices of femoral neck strength in a group of young overweight and obese men. *J Clin Densitom* **21**(2), 310–311 (2018)



30. Zakhem, E., et al.: Influence of physical activity level on composite indices of femoral neck strength in a group of young overweight. *J. Clin. Densitom.* **23**(4), 596–603 (2020)
31. Zakhem, E., Sabbagh, P., Khoury, C.A., Zunquin, G., Baquet, G., El Hage, R.: Positive correlations between physical activity level and composite indices of femoral neck strength in a group of young overweight and obese men. *Sci. Sport* **36**(3), 210–217 (2020)
32. 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.* **24**(2), 214–224 (2021)
33. Sardinha, L.B., Baptista, F., Ekelund, U.: Objectively measured physical activity and bone strength in 9-year-old boys and girls. *Pediatrics* **122**(3), e728–e736 (2008)
34. Mori, T., et al.: Physical activity as determinant of femoral neck strength relative to load in adult women: findings from the hip strength across the menopause transition study. *Osteoporos. Int.* **25**, 265–272 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00198-013-2429-z>
35. World Health Organization: Obesity: Preventing and managing the global epidemic. WHO technical report series, Geneva (2000)
36. Beck, T.J., Ruff, C.B., Warden, K.E., LeBoff, M.S., Cauley, J.A., Chen, Z.: Predicting femoral neck strength from bone mineral data. A structural approach. *Invest. Radiol.* **25**(1), 6–18 (1990)
37. Silva, B.C., Broy, S.B., Boutroy, S., Schousboe, J.T., Shepherd, J.A., Leslie, W.D.: Fracture risk prediction by non-BMD DXA measures: the 2015 ISCD Official Positions Part 2: trabecular bone score. *J. Clin. Densitom.* **18**(3), 309–330 (2015)
38. Harvey, N.C., et al.: Trabecular bone score (TBS) as a new complementary approach for osteoporosis evaluation in clinical practice. *Bone* **78**, 216–224 (2015)
39. El Hage, R., et al.: Maximal oxygen consumption and bone mineral density in a group of young Lebanese adults. *J. Clin. Densitom.* **17**, 320–324 (2014)
40. El Hage, R., Bachour, F., Sebaalt, A., Issa, M., Zakhem, E., Maalouf, G.: The influence of weight status on radial bone mineral density in Lebanese women. *Calcif. Tissue Int.* **94**(4), 465–467 (2014)
41. El Hage, R., et al.: The influence of obesity and overweight on hip bone mineral density in Lebanese women. *J. Clin. Densitom.* **17**(1), 216–217 (2014)
42. Zakhem, E., et al.: Physical performance and trabecular bone score in a group of young Lebanese women. *J. Clin. Densitom.* **18**, 271–272 (2015)
43. Harman, E., Rosenstein, M., Frykman, P., Rosenstein, R., Kraemer, W.: Estimation of human power output from vertical jump. *J. Strength Conditioning Res.* **5**(3), 116–120 (1991)
44. Zakhem, E., et al.: Performance physique et densité minérale osseuse chez de jeunes adultes libanais. *J. Med. Liban.* **64**(4), 193–199 (2016)
45. Khoury, C.E., et al.: Physical performance variables and bone mineral density in a group of young overweight and obese men. *J. Clin. Densitom.* **21**(1), 41–47 (2018)
46. Petit, M.A., Beck, T.J., Hughes, J.M., Lin, H.M., Bentley, C., Lloyd, T.: Proximal femur mechanical adaptation to weight gain in late adolescence: a six-year longitudinal study. *J. Bone Miner. Res.* **23**, 180–188 (2008)
47. Shea, K.L., et al.: Loss of bone strength in response to exercise-induced weight loss in obese postmenopausal women: results from a pilot study. *J. Musculoskelet. Neuronal. Interact.* **14**, 229–238 (2014)
48. MacKelvie, K.J., McKay, H.A., Petit, M.A., Moran, O., Khan, K.M.: Bone mineral response to a 7-month randomized controlled, school-based jumping intervention in 121 prepubertal boys: associations with ethnicity and body mass index. *J. Bone Miner. Res.* **17**(5), 834–844 (2002)
49. Nikander, R., Sievänen, H., Heinonen, A., Kannus, P.: Femoral neck structure in adult female athletes subjected to different loading modalities. *J. Bone Miner. Res.* **20**(3), 520–528 (2005)

50. Lorentzon, M., Mellström, D., Ohlsson, C.: Association of amount of physical activity with cortical bone size and trabecular volumetric BMD in young adult men: the GOOD study. *J. Bone Miner. Res.* **20**(11), 1936–1943 (2005)
51. Bonjour, J.P., Chevalley, T., Rizzoli, R., Ferrari, S.: Gene environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Med. Sport Sci.* **51**, 64–80 (2007)
52. El Hage, R., et al.: Effects of 12 weeks of endurance training on bone mineral content and bone mineral density in obese, overweight and normal weight adolescent girls. *Sci. Sports* **24**(3–4), 210–213 (2009)
53. Genaro, P.S., Pereira, G.A., Pinheiro, M.M., Szejnfeld, V.L., Martini, L.A.: Influence of body composition on bone mass in postmenopausal osteoporotic women. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **51**(3), 295–298 (2010)
54. Khoury, G.E., et al.: Bone variables in active overweight/obese men and sedentary overweight/obese men. *J. Clin. Densitom.* **20**, 239–246 (2017)
55. Rocher, E., El Hage, R., Chappard, C., Portier, H., Rochefort, G.Y., Benhamou, C.L.: Bone mineral density, hip bone geometry, and calcaneus trabecular bone texture in obese and normal-weight children. *J. Clin. Densitom.* **16**(2), 244–249 (2013)
56. Beck, T.J.: Measuring the structural strength of bones with dual-energy X-ray absorptiometry: principles, technical limitations, and future possibilities. *Osteoporos. Int.* **14**(5), S81–S88 (2003)
57. Beck, T.J.: Extending DXA beyond bone mineral density: understanding hip structure analysis. *Curr. Osteoporos. Rep.* **5**(2), 49–55 (2007)



**Étude principale : Effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids**

## 1. Résumé

L'objectif principal de cette thèse de doctorat était d'explorer les effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids. 43 jeunes hommes (dont l'âge est compris entre 18 et 26 ans) en surpoids (IMC > 25 kg/m<sup>2</sup>) ont participé à cette étude. La population a été divisée en deux groupes : groupe sprint (n = 21) et groupe témoin (n = 22). Les paramètres osseux, la composition corporelle, les paramètres de force maximale, la performance en sprint et les qualités de détente ont été mesurés avant et après la période d'entraînement. Le CMO CE, la DMO lombaire, la détente verticale, la détente horizontale, la performance en sprint, la force maximale en demi-squat et la force maximale en soulevé de terre ont augmenté chez le groupe sprint mais pas chez le groupe témoin. Une analyse de type 2-way-RM-ANOVA a démontré des interactions significatives groupe \* temps pour les paramètres osseux et les performances physiques. En conclusion, la présente étude démontre que l'entraînement d'un an en sprint est une méthode efficace pour augmenter le CMO CE, la DMO lombaire, la force maximale et la détente verticale chez les jeunes hommes en surpoids.

Mots clés : Pic de masse osseuse ; Force musculaire ; Composition corporelle ; Prévention de l'ostéoporose ; Entraînement physique.

## 2. Résultats

### 2.1 Caractéristiques cliniques de la population étudiée au départ

Il y avait des différences significatives entre les deux groupes au niveau de l'âge, du pourcentage de masse grasse, du Z, de la force maximale en développé-couché, de la force maximale en extension du genou, de la force maximale en flexion du genou. La consommation protéique journalière, la qualité de sommeil et les valeurs d'IPAQ (MET-min/semaine) n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes. La CCJ était significativement supérieure dans le groupe sprint par rapport au groupe témoin.

Tableau 5 : Caractéristiques cliniques de la population étudiée au départ

<b>Passage 1</b>	<b>Groupe sprint (n = 21)</b>	<b>Groupe témoin (n =22)</b>	<b>p-value</b>
	Mean ± SD	Mean ± SD	
<b>Age (years)</b>	<b>19.2 ± 1.3</b>	<b>20.9 ± 2.0</b>	<b>0.006</b>
<b>Weight (kg)</b>	87.0 ± 10.4	89.2 ± 11.6	0.469
<b>Height (m)</b>	1.79 ± 0.06	1.75 ± 0.04	0.057
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	27.1 ± 2.4	28.7 ± 2.9	0.075
<b>Lean mass (g)</b>	58196 ± 5340	55621 ± 8761	0.351
<b>Fat mass (g)</b>	24103 ± 6630	27267 ± 10475	0.290
<b>Fat mass (%)</b>	<b>29.0 ± 4.8</b>	<b>33.6 ± 5.9</b>	<b>0.024</b>
<b>WB BMC (g)</b>	3088 ± 346	2910 ± 438	0.198
<b>WB BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	1.251 ± 0.105	1.257 ± 0.144	0.859
<b>L2-L4 BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	1.275 ± 0.130	1.229 ± 0.151	0.326

<b>TH BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	1.109 ± 0.252	1.152 ± 0.154	0.535
<b>FN BMD (g/cm<sup>2</sup>)</b>	1.179 ± 0.141	1.168 ± 0.159	0.860
<b>CSA (mm<sup>2</sup>)</b>	202 ± 27	189 ± 28	0.255
<b>CSMI (mm<sup>2</sup>)<sup>2</sup></b>	18628 ± 4254	15897 ± 3084	0.060
<b>Z (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>1014 ± 178</b>	<b>868 ± 235</b>	<b>0.026</b>
<b>BR</b>	3.16 ± 1.37	3.07 ± 1.28	0.781
<b>SI</b>	1.69 ± 0.57	1.39 ± 0.35	0.068
<b>Horizontal jump (m)</b>	1.924 ± 0.378	1.877 ± 0.492	0.717
<b>Vertical jump (cm)</b>	51.952 ± 9.937	50.500 ± 10.290	0.617
<b>Triple jump (m)</b>	5.571 ± 0.931	5.386 ± 0.813	0.391
<b>P load speed</b>	800.381 ± 141.991	820.091 ± 148.141	0.812
<b>20 m sprint performance (s)</b>	3.894 ± 0.481	3.910 ± 0.701	0.866
<b>1-RM squat (kg)</b>	86.905 ± 17.210	75.000 ± 23.855	0.089
<b>1-RM DC (kg)</b>	<b>79.524 ± 25.880</b>	<b>59.545 ± 14.385</b>	<b>0.008</b>
<b>1-RM deadlift (kg)</b>	84.048 ± 19.851	72.500 ± 19.806	0.100
<b>1-RM leg extension (lb)</b>	<b>215.238 ± 42.499</b>	<b>144.773 ± 55.773</b>	<b>&lt;0.001</b>
<b>1-RM leg curl (lb)</b>	<b>173.810 ± 37.010</b>	<b>126.136 ± 29.878</b>	<b>&lt;0.001</b>

SD, standard deviation; BMI, body mass index; WB, whole body; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; L2-L4, Lumbar spine; TH, total hip; FN, femoral neck; CSA, cross-sectional area; CSMI, cross-sectional moment of inertia; Z, section modulus; BR, buckling ratio; SI, strength index; RM, repetition maximum. In bold, significant differences between the 2 groups.

## 2.2 Corrélations entre les caractéristiques cliniques et les paramètres osseux

Le poids, la taille, la masse maigre, la force maximale en soulevé de terre et la force maximale en extension du genou étaient positivement corrélés au CMO CE. La performance en sprint était corrélée à la DMO CE et à la DMO lombaire. La détente horizontale, la détente verticale, le triple bond et la force maximale en développé-couché étaient positivement corrélés au SI. La CCJ, la CPJ, le PSQI et les scores d'IPAQ n'étaient pas corrélés aux paramètres osseux mesurés.

Tableau 6 : Corrélations entre les caractéristiques cliniques et les paramètres osseux

	WB BMC (g)	WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	L2-L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	CSMI (mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	Z (mm <sup>3</sup> )	BR	SI
<b>Age (years)</b>	0.00	0.14	0.09	-0.06	-0.16	-0.22	-0.19	- 0.14	0.20	-0.08
<b>Weight (kg)</b>	0.39 **	0.09	-0.08	0.01	0.08	0.15	0.20	0.26	-0.00	-0.41 **
<b>Height (m)</b>	0.64 ***	0.34 *	0.18	0.18	0.34 *	0.38 *	0.39 **	0.44 **	-0.28	-0.19
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	0.11	0.00	-0.18	-0.06	-0.05	-0.00	0.05	0.07	0.16	-0.37 *
<b>Lean mass (g)</b>	0.45 **	0.14	0.22	0.09	0.29	0.40 **	0.41 **	0.40 **	-0.13	-0.03
<b>Fat mass (g)</b>	0.01	-0.12	-0.33 *	-0.18	-0.16	-0.16	-0.13	- 0.07	0.24	-0.44 **
<b>Fat mass (%)</b>	-0.22	-0.16	-0.50 ***	-0.29	-0.40 **	-0.45 **	-0.38 *	- 0.29	0.34 *	-0.55 ***
<b>Horizontal jump (m)</b>	0.09	0.14	0.25	0.17	0.29	0.29	0.14	0.20	-0.27	0.57 ***

	WB BMC (g)	WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	L2-L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	CSA (mm <sup>2</sup> )	CSMI (mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	Z (mm <sup>3</sup> )	BR	SI
<b>Vertical jump (cm)</b>	0.10	0.18	0.32 *	0.16	0.31 *	0.33 *	0.18	0.27	-0.28	0.54 ***
<b>Triple jump (m)</b>	-0.02	0.16	0.22	0.14	0.16	0.16	0.02	0.12	-0.07	0.41 **
<b>P load speed (watts)</b>	0.03	0.08	0.19	0.29	0.24	0.19	0.11	0.17	-0.33 *	0.14
<b>20 m spint performance (s)</b>	0.04	-0.35 *	-0.34 *	-0.25	-0.27	-0.13	-0.01	- 0.01	-0.02	-0.19
<b>1-RM squat (kg)</b>	0.24	0.25	0.29	0.10	0.20	0.21	0.15	0.17	0.02	0.06
<b>1-RM DC (kg)</b>	0.07	0.02	0.08	-0.06	-0.03	0.07	0.03	0.08	-0.28	0.32 *
<b>1-RM deadlift (kg)</b>	0.34 *	0.27	0.39 **	0.12	0.20	0.24	0.18	0.22	-0.12	0.14
<b>1-RM leg extension (lb)</b>	0.41 **	0.29	0.26	0.09	0.18	0.30 *	0.29	0.36 *	-0.14	0.15
<b>1-RM leg curl (lb)</b>	0.28	0.12	0.19	-0.01	0.13	0.18	0.11	0.23	0.01	0.12

BMI, body mass index; WB, whole body; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; L2-L4, Lumbar spine; TH, total hip; FN, femoral neck; CSA, cross-sectional area; CSMI, cross-sectional moment of inertia; Z, section modulus; BR, buckling ratio; SI, strength index; RM, repetition maximum.

### 2.3 Caractéristiques cliniques de la population étudiée à la fin de l'intervention

Il y avait des différences significatives entre les deux groupes au niveau de l'âge, la taille de l'IMC, du pourcentage de masse grasse, du Z, du SI, du triple bond, de la force maximale en demi-squat, de la force maximale en développé-couché, de la force maximale en extension du genou, de la force maximale en flexion du genou et de la force maximale en soulevé de terre.

Tableau 7 : Caractéristiques cliniques de la population étudiée à la fin de l'intervention

Passage 2	<b>Groupe sprint (n = 21)</b>	<b>Groupe témoin (n =22)</b>	<b>p-value</b>
	Mean ± SD	Mean ± SD	
Age (years)	<b>20.2 ± 1.3</b>	<b>21.9 ± 2.0</b>	<b>0.005</b>
Weight (kg)	85.1 ± 10.9	89.5 ± 11.1	0.192
Height (m)	<b>1.79 ± 0.06</b>	<b>1.75 ± 0.04</b>	<b>0.019</b>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	<b>26.6 ± 2.8</b>	<b>28.8 ± 3.1</b>	<b>0.021</b>
Lean mass (g)	58163 ± 5585	55096 ± 8304	0.165
Fat mass (g)	22188 ± 6472	25507 ± 12859	0.295
Fat mass (%)	<b>27.7 ± 6.0</b>	<b>33.6 ± 6.0</b>	<b>0.003</b>
WB BMC (g)	3128 ± 360	2914 ± 442	0.091
WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.275 ± 0.107	1.251 ± 0.114	0.479
L2-L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.306 ± 0.130	1.227 ± 0.135	0.059
TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.142 ± 0.138	1.138 ± 0.147	0.919
FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.187 ± 0.140	1.146 ± 0.159	0.370
CSA (mm <sup>2</sup> )	204 ± 30	186 ± 29	0.055

CSMI (mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	26698 ± 35460	15844 ± 3143	0.160
Z (mm <sup>3</sup> )	<b>1034 ± 188</b>	<b>862 ± 241</b>	<b>0.013</b>
BR	3.36 ± 1.23	3.56 ± 1.77	0.662
SI	<b>1.56 ± 0.55</b>	<b>1.25 ± 0.37</b>	<b>0.043</b>
Horizontal jump (m)	2.124 ± 0.476	1.859 ± 0.542	0.097
Vertical jump (m)	54.619 ± 10.205	50.182 ± 11.570	0.190
Triple jump (m)	<b>5.895 ± 0.816</b>	<b>5.345 ± 0.820</b>	<b>0.033</b>
P load speed (watts)	808.190 ± 144.457	817.364 ± 154.816	0.842
20 m sprint performance (s)	3.678 ± 0.489	3.865 ± 0.665	0.303
1-RM squat (kg)	<b>94.429 ± 17.087</b>	<b>76.091 ± 23.013</b>	<b>0.005</b>
1-RM DC (kg)	<b>84.667 ± 25.218</b>	<b>59.773 ± 13.756</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM deadlift (kg)	<b>88.952 ± 19.777</b>	<b>74.000 ± 20.707</b>	<b>0.020</b>
1-RM leg extension (lb)	<b>226.810 ± 41.120</b>	<b>146.136 ± 55.877</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM leg curl (lb)	<b>182.476 ± 36.589</b>	<b>127.727 ± 28.591</b>	<b>&lt;0.001</b>

SD, standard deviation; BMI, body mass index; WB, whole body; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; L2-L4, Lumbar spine; TH, total hip; FN, femoral neck; CSA, cross-sectional area; CSMI, cross-sectional moment of inertia; Z, section modulus; BR, buckling ratio; SI, strength index; RM, repetition maximum. In bold, significant differences between the 2 groups.

#### 2.4 Valeurs avant et après l'intervention dans le groupe entier

Plusieurs variables osseuses et paramètres de performance physique ont augmenté en réponse à l'entraînement comme le montre le tableau ci-dessous.



Tableau 8 : Valeurs avant et après l'intervention dans le groupe entier

	Passage 1 (n=43)	Passage 2 (n=43)	p-value
	Mean ± SD	Mean ± SD	
Age (years)	<b>20.1 ± 1.9</b>	<b>21.1 ± 1.9</b>	<b>&lt;0.001</b>
Weight (kg)	88.1 ± 11.0	87.4 ± 11.1	0.336
Height (m)	1.77 ± 0.05	1.77 ± 0.05	0.062
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	27.9 ± 2.7	27.7 ± 3.1	0.409
Lean mass (g)	56878 ± 7325	56594 ± 7193	0.562
Fat mass (g)	25721 ± 8852	23886 ± 10268	0.168
Fat mass (%)	31.3 ± 5.8	30.7 ± 6.7	0.202
WB BMC (g)	<b>2997 ± 401</b>	<b>3018 ± 414</b>	<b>0.011</b>
WB BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.254 ± 0.125	1.263 ± 0.110	0.385
L2-L4 BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.252 ± 0.141	1.265 ± 0.137	0.064
TH BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.131 ± 0.206	1.140 ± 0.141	0.644
FN BMD (g/cm <sup>2</sup> )	1.173 ± 0.149	1.166 ± 0.150	0.241
CSA (mm <sup>2</sup> )	195 ± 28	194 ± 31	0.527
CSMI (mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	17231 ± 3909	21145 ± 25176	0.302
Z (mm <sup>3</sup> )	939 ± 219	946 ± 231	0.571
BR	3.11 ± 1.31	3.46 ± 1.52	0.103
SI	<b>1.54 ± 0.49</b>	<b>1.40 ± 0.49</b>	<b>&lt;0.001</b>
Horizontal jump (m)	<b>1.900 ± 0.436</b>	<b>1.988 ± 0.522</b>	<b>0.007</b>
Vertical jump (m)	<b>51.209 ± 10.025</b>	<b>52.349 ± 11.026</b>	<b>0.012</b>

Triple jump (m)	<b>5.477 ± 0.867</b>	<b>5.614 ± 0.855</b>	<b>0.005</b>
P load speed (watts)	810.465 ± 143.781	812.884 ± 148.130	0.252
20 m sprint performance (s)	<b>3.902 ± 0.597</b>	<b>3.773 ± 0.586</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM squat (kg)	<b>80.814 ± 21.490</b>	<b>85.047 ± 22.133</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM DC (kg)	<b>69.302 ± 22.902</b>	<b>71.930 ± 23.579</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM deadlift (kg)	<b>78.140 ± 20.442</b>	<b>81.302 ± 21.397</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM leg extension (lb)	<b>179.186 ± 60.709</b>	<b>185.535 ± 63.491</b>	<b>&lt;0.001</b>
1-RM leg curl (lb)	<b>149.419 ± 40.988</b>	<b>154.465 ± 42.580</b>	<b>&lt;0.001</b>

SD, standard deviation; BMI, body mass index; WB, whole body; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density; L2-L4, Lumbar spine; TH, total hip; FN, femoral neck; CSA, cross-sectional area; CSMI, cross-sectional moment of inertia; Z, section modulus; BR, buckling ratio; SI, strength index; RM, repetition maximum. In bold, significant differences.

## 2.5 Pourcentages de variations des principaux paramètres

Les pourcentages de variations du CMO CE, de la DMO L2-L4, de la DMO CF, de la CSA, de la détente verticale, de la détente horizontale, de la puissance maximale des membres inférieurs, de la performance en 20 mètres, la force maximale en demi squat et la force maximale en soulevé de terre étaient significativement supérieurs dans le groupe sprint par rapport au groupe témoin.

Tableau 9 : Pourcentages de variations des principaux paramètres

	Groupe sprint (n = 21)	Groupe témoin (n =22)	Valeur de p
CMO CE (g)	1,27 ± 0,43	0,10 ± 0,23	0,02
DMO L2-L4 (g/cm <sup>2</sup> )	2,49 ± 0,94	0,00 ± 0,61	0,03
DMO CF (g/cm <sup>2</sup> )	0,75 ± 0,81	-1,9 ± 0,7	0,01
CSA (mm <sup>2</sup> )	1,50 ± 0,79	-1,94 ± 0,79	0,009
Détente verticale (cm)	5,21 ± 0,46	-0,93 ± 1,4	<0,001
Détente horizontale (m)	10,2 ± 2,0	-1,2 ± 1,8	<0,001
Puissance maximale (watts)	0,95 ± 0,15	-0,47 ± 0,50	0,01
Sprint 20 m (sec)	-5,52 ± 1,10	-0,95 ± 1,13	0,005
1-RM demi-squat (kg)	9,2 ± 1,16	2,29 ± 1,54	<0,001
1-RM soulevé de terre (kg)	6,29 ± 0,93	1,97 ± 1,21	0,008

CMO : Contenu minéral osseux ; CE : Corps entier ; DMO : Densité minérale osseuse ; CSA : Surface de la section transversale ; 1-RM : une répétition maximale.

## 2.6 Interactions groupe \* temps

Une analyse statistique en utilisant une analyse de variance à deux voies mesures répétées a démontré des interactions groupe \* temps significatives concernant le CMO CE, la DMO lombaire, la DMO CF, la CSA, la détente horizontale, la détente verticale, la performance en sprint, la puissance maximale des membres inférieurs, la force maximale en demi-squat et la force maximale en soulevé de terre.

## 2.7 Variations en réponse à l'entraînement dans chaque groupe

Le CMO CE ( $3088 \pm 7,6$  vs.  $3128 \pm 7,6$  ;  $p < 0,001$ ), la DMO L2-L4 ( $1,275 \pm 0,006$  vs.  $1,306 \pm 0,006$  ;  $p < 0,01$ ), la détente verticale ( $51,9 \pm 0,37$  vs.  $54,6 \pm 0,37$  ;  $p < 0,001$ ), la détente horizontale ( $1,92 \pm 0,03$  vs.  $2,12 \pm 0,03$  ;  $p < 0,001$ ), la puissance maximale des membres inférieurs ( $800 \pm 1,96$  vs.  $808 \pm 1,96$  ;  $p < 0,01$ ), la performance en sprint ( $3,89 \pm 0,03$  vs.  $3,67 \pm 0,03$  ;  $p < 0,01$ ), la force maximale en demi-squat ( $86,9 \pm 0,73$  vs.  $94,4 \pm 0,73$  ;  $p < 0,001$ ) et la force maximale en soulevé de terre ( $84,0 \pm 0,55$  vs.  $88,9 \pm 0,55$  ;  $p < 0,001$ ) ont significativement augmenté dans le groupe sprint mais pas dans le groupe témoin. Le tableau suivant montre les valeurs d de Cohen concernant les paramètres osseux dans le groupe expérimental.

Tableau 10 : Tailles d'effet (valeurs d de Cohen) dans le groupe expérimental (n = 21)

	<b>d de Cohen</b>
CMO CE	0,11
DMO CE	0,23
DMO L2-L4	0,24
DMO HT	0,16
DMO CF	0,06

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse ; CE : Corps entier ; HT : Hanche totale ; CF : Col fémoral.

## Journal of Clinical Densitometry

A one-year sprint training program improves bone mineral density and physical performance parameters in a group of young overweight men  
--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	JCLINDENSITOM-D-22-00104
<b>Article Type:</b>	Letter to the Editor
<b>Keywords:</b>	Peak bone mass; Obesity; Fracture prevention; Muscular power.
<b>Corresponding Author:</b>	rawad el hage University of Balamand Tripoli, Lebanon
<b>First Author:</b>	Pierre Kamlé
<b>Order of Authors:</b>	Pierre Kamlé Antonio Pinti Zaher El Hage Nour Khalil Hechmi Toumi rawad el hage

Cover Letter

There are no prior publications or submissions with any overlapping information. This work is not and will not be submitted to any other journal while under consideration by the **JOURNAL OF CLINICAL DENSITOMETRY**. All listed authors played a role in the conception, development, planning execution, analysis or interpretation of the research and/or writing of the manuscript. Each author listed on the manuscript has seen and approved the submission of this version of the manuscript and takes full responsibility for the manuscript. Conflict of interest: The authors state that they have no conflicts of interest.

Corresponding author: Rawad El Hage

**Title: A one-year sprint training program improves bone mineral density and physical performance parameters in a group of young overweight men**

Article type: Letter to the Editor

Running title: Sprint training and BMD in overweight men

Authors: Pierre kamlé<sup>1,2</sup>, Antonio Pinti<sup>3</sup>, Zaher El Hage<sup>4</sup>, Nour Khalil<sup>1,3</sup>, Hechmi Toumi<sup>5,6</sup>, Rawad El Hage<sup>1,\*</sup>

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

2. IDP Laboratory, University of Orléans, UMR 7013, rue de Chartres, 45067, Orléans, France.

3. Laboratoire LARSH DeVisu, Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF), Valenciennes, France.

4. Department of Psychology, Education and Physical Education, Faculty of Humanities, Notre Dame University, Louaize, Lebanon.

5. Translational Medicine Research Platform, PRIMMO, Regional Hospital of Orleans, Orleans, France.

6. Department of Rheumatology, Regional Hospital of Orléans, 45067 Orléans, France.

\* Corresponding author: Rawad El Hage

E-mail address: rawadelhage21@hotmail.com

Tel.: 00961/3/713605

Fax: 00961/6/930278

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

The authors state that they have no conflicts of interest.



Dear Editor,

Osteoporosis is a prevalent disease in Lebanon (1-4). Peak bone mass is a strong predictor of fracture risk later in life (5-7). Peak bone mass is positively correlated to body weight, lean mass and muscular power as previously shown by several cross-sectional and longitudinal studies (5-9). Being overweight is usually associated with higher hip bone mineral density (BMD) values in adults (10-13). However, fat mass excess may negatively affect bone parameters in adult men, and several mechanisms have been proposed to explain this relationship (12-16). The relationship between obesity and bone mass seems to be influenced by gender and age (12-16). Obese and overweight subjects have low composite indices of femoral neck strength and BMD/weight values (17, 18). In a recent meta-analysis, we have demonstrated that endurance training is effective in increasing BMD in obese adults (19). Other previous longitudinal studies have investigated the effects of resistance training or combined training on BMD in overweight/obese subjects (20-23). However, few studies investigated the effects of sprint training on bone parameters in overweight men (24, 25). Sprinters seem to have high hip and lumbar spine BMD values (26-28). Recently, we have shown that sprinting performance is positively correlated to many bone variables in several populations (29, 30). The main aim of the current study was to investigate the effects of a one-year sprint training program on BMD in a group of young overweight men. We hypothesized that this kind of training would increase BMD without significantly affecting body composition in the studied population.

All participants were randomly recruited from two private Universities located in North Lebanon. The participants were healthy men aged between 18 and 26 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-three young overweight men ( $BMI > 25 \text{ kg/m}^2$ ) whose ages range from 18 to 26 years participated in the study. Subjects were assigned to two groups: experimental group ( $n = 21$ ) or control group ( $n = 22$ ). The experimental group performed incremental training of two sprint sessions per week for the period of 12 months. 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 before and after the one-year sprint training program. Body composition, whole body (WB) BMC, WB BMD, lumbar spine (L2-L4) BMD, total hip (TH) BMD, femoral neck (FN) BMD and FN geometry parameters (cross-sectional area (CSA), cross-sectional moment of inertia (CSMI), section modulus (Z), buckling ratio (BR) and strength index (SI)) were evaluated/calculated by DXA (GE Lunar Healthcare, Madison, WI, USA) before and after the one-year sprint training program. Physical performance variables (horizontal jump (in meters), vertical jump (in centimeters), 20m sprinting performance (duration in seconds), maximum power of the lower limbs (in watts), 1-RM half-squat (in kilograms) and 1-RM deadlift (in kilograms)) were evaluated before and after the one-year sprint training program using validated protocols as previously described (31-33).

The means and standard errors of the means (SEM) were calculated for all studied parameters. The effects of the intervention (the one-year sprint training program) were analyzed by means of repeated measures ANOVA. After an F value was found to be significant for the interaction between group and time, preplanned contrast analyses were performed to evaluate significant pre-post changes in each group. Comparisons between the percentages of variations after the 12-month training program in the two groups were done using the unpaired t-test. All analyses were performed using SigmaStat software (SigmaStat for Windows, Version 3.11, Systat Software, Inc.). The level of significance was set at  $p < 0.05$ .

Significant group \* time interactions were observed in WB BMC, L2-L4 BMD, FN BMD, CSA, horizontal jump, vertical jump, 20m sprinting performance, maximum power of the lower limbs, 1-RM half-squat and 1-RM deadlift. No significant group \* time interactions were observed in weight, BMI, fat mass and lean mass.

The percentages of variations of WB BMC ( $1.27 \pm 0.43$  vs.  $0.10 \pm 0.23$ ;  $p = 0.02$ ), L2-L4 BMD ( $2.49 \pm 0.94$  vs.  $0.00 \pm 0.61$ ;  $p = 0.03$ ), FN BMD ( $0.75 \pm 0.81$  vs.  $-1.90 \pm 0.70$ ;  $p = 0.01$ ) and CSA ( $1.50 \pm 0.79$  vs.  $-1.94 \pm 0.79$ ;  $p = 0.009$ ) after the 12-month training program were significantly higher in the experimental group compared to the control group respectively. The percentages of variations of vertical jump ( $5.21 \pm 0.46$  vs.  $-0.93 \pm 1.40$ ;  $p < 0.001$ ), horizontal jump ( $10.2 \pm 2.0$  vs.  $-1.2 \pm 1.8$ ;  $p < 0.001$ ), maximum power of the lower limbs ( $0.95 \pm 0.15$  vs.  $-0.47 \pm 0.50$ ;  $p = 0.01$ ), sprint duration ( $-5.52 \pm 1.10$  vs.  $-0.85 \pm 1.13$ ;  $p = 0.005$ ), 1-RM half-squat ( $9.20 \pm 1.16$  vs.  $2.29 \pm 1.54$ ;  $p < 0.001$ ) and 1-RM deadlift ( $6.29 \pm 0.93$  vs.  $1.97 \pm 1.21$ ;  $p = 0.008$ ) after the 12-month training program were significantly greater in the experimental group compared to the control group respectively.

The experimental group showed significant improvements in WB BMC ( $3088 \pm 7.6$  vs.  $3128 \pm 7.6$ ;  $p < 0.001$ ), L2-L4 BMD ( $1.275 \pm 0.006$  vs.  $1.306 \pm 0.006$ ;  $p < 0.01$ ), vertical jump ( $51.9 \pm 0.37$  vs.  $54.6 \pm 0.37$ ;  $p < 0.001$ ), horizontal jump ( $1.92 \pm 0.03$  vs.  $2.12 \pm 0.03$ ;  $p < 0.001$ ), maximum power of the lower limbs ( $800 \pm 1.96$  vs.  $808 \pm 1.96$ ;  $p < 0.01$ ), sprint duration ( $3.89 \pm 0.03$  vs.  $3.67 \pm 0.03$ ;  $p < 0.001$ ), 1-RM half-squat ( $86.9 \pm 0.73$  vs.  $94.4 \pm 0.73$ ;  $p < 0.001$ ) and 1-RM deadlift ( $84.0 \pm 0.55$  vs.  $88.9 \pm 0.55$ ;  $p < 0.001$ ), while the control group did not show any significant improvements in these parameters.

Up to our knowledge, the current study is the first to study the effects of sprint training on bone parameters in overweight men. Importantly, this intervention was effective in increasing several bone parameters and physical performance variables. The percent increase in BMD was the highest at the lumbar spine region. This result is in accordance with those of our previous study conducted on elderly subjects (22). Metabolic activity is well-known to be higher in trabecular bone compared to cortical bone (35). Sprint training increases mechanical stimuli on the hip and the lumbar spine especially in overweight or obese subjects (24-28). In addition, a recent study has shown that sprint training decreases subcutaneous adipose tissue sclerostin levels (36). Interestingly, inhibiting sclerostin has been used as a therapeutic target for treating low bone mass (37). In conclusion, the current study suggests 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.

#### **Conflicts of interest**

None.

## References

1. El Hage R, Bachour F, Sebaaly A, et al. 2014 The influence of weight status on radial bone mineral density in Lebanese women. *Calcif Tissue Int* 94(4):465–467.
2. El Hage R, Bachour F, Khairallah W, et al. 2014 The influence of obesity and overweight on hip bone mineral density in Lebanese women. *J Clin Densitom* 17(1):216–217.
3. 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.
4. Ayoub ML, Maalouf G, Bachour F, et al. 2014 DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop Traumatol Surg Res* 100:855–858.
5. Bonjour JP, Chevalley T, Rizzoli R, Ferrari S. 2007 Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Med Sport Sci* 51:64–80.
6. 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.
7. Chevalley T, Bonjour JP, Ferrari S, Rizzoli R. 2009 The influence of pubertal timing on bone mass acquisition: a predetermined trajectory detectable five years before menarche. *J Clin Endocrinol Metab* 94(9):3424–3431.
8. 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.

9. 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. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 20(1):53–61.
10. Rinonapoli G, Pace V, Ruggiero C, et al. 2021 Obesity and Bone: A Complex Relationship. *Int J Mol Sci* 22(24):13662.
11. Gkastaris K, Goulis DG, Potoupnis M, Anastasilakis AD, Kapetanios G. 2020 Obesity, osteoporosis and bone metabolism. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 20(3):372–381.
12. Maïmoun L, Mura T, Leprieur E, Avignon A, Mariano-Goulart D, Sultan A. 2016 Impact of obesity on bone mass throughout adult life: Influence of gender and severity of obesity. *Bone* 90:23–30.
13. Fassio A, Idolazzi L, Rossini M, et al. 2018 The obesity paradox and osteoporosis [published correction appears in *Eat Weight Disord*. 2018 May 2;:]. *Eat Weight Disord* 23(3):293–302.
14. Li Y. 2022 Association between obesity and bone mineral density in middle-aged adults. *J Orthop Surg Res* 17(1):268.
15. Franceschi R, Radetti G, Soffiati M, Maines E. 2022 Forearm Fractures in Overweight-Obese Children and Adolescents: A Matter of Bone Density, Bone Geometry or Body Composition?. *Calcif Tissue Int* 111(2):107–115.
16. Fintini D, Cianfarani S, Cofini M, et al. 2020 The Bones of Children With Obesity. *Front Endocrinol (Lausanne)* 11:200.

17. El Khoury C, Toumi H, Lespessailles E, et al. 2017 Decreased Composite Indices of Femoral Neck Strength in Young Obese Men. *J Clin Densitom* 20(2):268–270.
18. Rocher E, El Hage R, Chappard C, Portier H, Rochefort GY, Benhamou CL. 2013 Bone mineral density, hip bone geometry, and calcaneus trabecular bone texture in obese and normal-weight children. *J Clin Densitom* 16(2):244–249.
19. 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.
20. Berro AJ, Kazwini S, Ahmaidi S, El Hage R. 2020 Effects of 12 months of resistance training vs. endurance training on bone mineral density, hip geometry indices and trabecular bone score in a group of young overweight women. *Science & Sports* 35(5):318–319.
21. El Hage R, Jacob C, Moussa E, et al. 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. *Science & Sports* 24(3-4):210–213.
22. Nasr R, Al Rassy N, Watelain E, et al. 2019 Influence of three different types of physical training programs on bone mineral density in a group of elderly subjects. *Science & Sports* 34(3):186–189.
23. El Khoury C, Lespessailles E, Pinti A, et al. 2016 PE.Ma-051 - Effets d'un an d'entraînement de force sur les paramètres osseux chez des jeunes hommes en surcharge pondérale. *Revue du Rhumatisme* 83(1):A297.

## Discussion générale

Cette thèse menée chez un groupe de jeunes hommes en surpoids montre principalement qu'un an d'entraînement en sprint augmente significativement le contenu minéral osseux du corps entier, la DMO lombaire et les performances en sprint et en détentes.

Cette thèse inclut également 3 études préliminaires qui introduisent l'étude principale.

L'étude préliminaire 1 a démontré que les jeunes hommes actifs ont des valeurs de CSI, BSI et ISI supérieures par rapport aux hommes inactifs. Ces différences persistent après ajustement pour le poids ou la masse grasse. Le fait d'être actif est donc associé à une augmentation des valeurs de CSI, de BSI et d'ISI chez les jeunes hommes. A notre connaissance, c'est la première étude qui révèle une différence concernant les indices de résistance osseuse du col fémoral entre hommes actifs et hommes inactifs.

L'étude préliminaire 2 montre principalement que la puissance maximale des membres inférieurs évaluée par le test charge-vitesse (en watts) est fortement corrélée à la DMO de la hanche chez les hommes mais pas chez les femmes. Ainsi, la puissance maximale des membres inférieurs est un déterminant important de la DMO au niveau de la hanche chez les jeunes hommes.

L'étude préliminaire 3 montre principalement que la détente verticale est un facteur corrélable au CSI, au BSI et à l'ISI chez les jeunes femmes. Les qualités de force relative semblent être positivement corrélables à ces indices osseux. Les trois études préliminaires mettent en évidence l'importance de l'activité physique et notamment les qualités de force-vitesse pour les paramètres osseux et introduisent donc notre étude principale.

L'étude principale démontre l'efficacité de l'entraînement en sprint pour l'amélioration des paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez les jeunes hommes en surpoids. Au départ, il n'y avait pas de différences significatives entre le groupe expérimental et le groupe témoin en ce qui concerne la DMO.

Les corrélations menées au départ montrent que le poids, l'IMC et la masse grasse étaient négativement corrélés au SI. Le SI est une mesure osseuse relative au poids corporel et est donc négativement influencé par l'excès de poids. D'autre part, la performance en sprint était corrélée à la



DMO CE et à la DMO lombaire. Ces résultats renforcent ceux d'autres études récentes menées chez les jeunes adultes (Finianos et coll. 2020 ; Finianos et coll. 2021). La détente horizontale, la détente verticale, le triple bond et la force maximale en développé-couché étaient positivement corrélés au SI. Les tests de performance physique qui mettent en évidence la force absolue et la puissance musculaire relative sont donc des facteurs corrélables à cet indice osseux géométrique. Ce résultat est en accord avec ceux de plusieurs études récentes menées sur les relations entre les paramètres de performance physique et la géométrie osseuse de la hanche (Khawaja et coll. 2021 ; Berro et coll. 2020).

Il y avait des interactions groupe \* temps significatives concernant le CMO CE, la DMO lombaire, la DMO CF, la CSA, la détente horizontale, la détente verticale, la performance en sprint, la puissance maximale des membres inférieurs, la force maximale en demi-squat et la force maximale en soulevé de terre. Il n'y avait pas d'interactions groupe \* temps significatifs concernant le poids, l'IMC, la masse grasse et la masse maigre. Ceci suggère un effet significatif de l'entraînement en sprint sur les paramètres de santé osseux et les paramètres de performance physique sans pour autant avoir un effet sur la composition corporelle et les paramètres anthropométriques. Ces résultats renforcent donc notre hypothèse de départ. Un entraînement de type endurance ou combiné (force + endurance) semble nécessaire pour obtenir des changements significatifs au niveau de la composition corporelle. L'analyse post-hoc a démontré que le CMO CE, la DMO lombaire, la détente verticale, la détente horizontale, la puissance absolue des membres inférieurs, la vitesse de sprint, la force maximale en demi-squat et la force maximale en soulevé de terre ont significativement augmenté dans le groupe expérimental mais pas dans le groupe témoin mettant ainsi en évidence l'impact positif de ce type d'entraînement sur les paramètres osseux chez les jeunes hommes en surpoids.

En parallèle, la comparaison des pourcentages de variations (en réponse à un an d'entraînement) montre que ceux-ci sont supérieurs chez le groupe expérimental par rapport au groupe témoin au niveau du CMO CE, la DMO L2-L4, la DMO CF, la CSA, la détente verticale, la détente horizontale, la puissance maximale des membres inférieurs, la performance en sprint, la force maximale en demi-squat et la force maximale en soulevé de terre. Ceci renforce les résultats de la première analyse.

Nous avons aussi calculé les valeurs  $d$  de Cohen afin de quantifier la réponse ostéogénique à l'entraînement de sprint chez le groupe expérimental. Les valeurs de  $d$  de Cohen sont presque similaires à celles rapportées par Zouhal et al. (2022) chez les jeunes adultes obèses en réponse aux entraînements de types endurance et/ou force. L'efficacité de ce type d'entraînement sur les paramètres osseux semble être équivalente à d'autres types d'entraînements (force et ou endurance). De futures

études seront nécessaires afin de comparer l'efficacité des différents types d'entraînements sur les paramètres osseux chez les jeunes adultes en surpoids ou obèses.

A notre connaissance, notre étude est la première à explorer les effets de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux chez les jeunes hommes en surpoids. Cette intervention était efficace pour l'amélioration des paramètres osseux et ceux de performance physique. Concernant les paramètres osseux, l'augmentation la plus importante était celle de la DMO lombaire. Ce résultat est en accord avec ceux d'autres études montrant que la réponse ostéogénique à moyen terme (12 à 18 mois) est plus importante au niveau du rachis lombaire par rapport aux d'autres sites osseux (Kang et coll.2014 ; El khoury G et coll. 2017).

En effet, l'activité métabolique est plus élevée au niveau des sites osseux riches en os trabéculaire comparé à ceux riches en os cortical (Nichi et coll.2022). L'entraînement de type sprint augmente les stimuli mécaniques sur les membres inférieurs et le rachis lombaire stimulant ainsi la formation osseuse à ces sites. Ces stimuli mécaniques associés à ce type d'entraînement sont logiquement plus élevés si les sujets sont en surpoids ou obèses ; ceci peut expliquer les gains osseux obtenus dans cette thèse. De plus, au niveau mécanistique, une étude récente a démontré que l'entraînement en sprint diminue les niveaux de sclérostine au niveau de la masse grasse sous-cutanée (Kurgan,et coll.2022). L'inhibition de la sclérostine a été utilisée comme une cible thérapeutique afin de traiter les sujets ayant une ostéoporose (Liao et coll.2022). De nouveaux essais sont en cours pour confirmer l'efficacité des traitements identiques.

La présente thèse inclut quelques limites. La nature transversale des études préliminaires est une limite car elle ne permet pas d'affirmer un lien de causalité entre les différents paramètres mesurés. La pandémie de COVID-19 nous a empêchés de réaliser quelques tests physiques additionnels et était responsable de plusieurs mois de retard dans la réalisation des tests. Le manque de mesures sanguines est aussi considéré comme une limite étant donné que les hormones et les bilans lipidiques et glucidiques conditionnent les paramètres osseux. Enfin, la crise économique et l'instabilité politique au Nord Liban ont rendu la réalisation de ce travail très difficile. Malgré ces limites, notre étude était la première à explorer l'effet d'une intervention pareille sur les paramètres osseux dans une population particulière qui inclut des jeunes hommes en surpoids. En conclusion, la présente thèse démontre qu'un an d'entraînement en sprint est efficace pour augmenter le CMO CE, la DMO lombaire et les performances physiques chez les jeunes hommes en surpoids.

## Conclusions et perspectives

Cette thèse de doctorat basée sur plusieurs études préliminaires et une étude principale montre principalement que :

- Les indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI) sont significativement plus élevés chez les jeunes hommes actifs (dont le niveau d'activité physique > 150 minutes par semaine) rapport aux hommes inactifs. Cette différence persiste après ajustement pour le poids ou l'IMC.
- La puissance maximale des membres inférieurs évaluée par le test de charge-vitesse est un facteur corrélable à la DMO et aux des indices géométriques de la hanche chez les jeunes hommes mais pas chez les jeunes femmes.
- La détente verticale est un facteur corrélable aux indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI) chez les jeunes femmes.
- L'entraînement en sprint est une méthode efficace pour augmenter le CMO CE, la DMO lombaire, la force maximale, la performance en sprint et la détente verticale chez les jeunes hommes en surpoids.

Aux vues des différents résultats obtenus dans nos travaux de recherche, il serait intéressant dans le futur de mener plusieurs études. Premièrement, il serait important d'explorer les effets de l'entraînement de sprint sur les paramètres osseux chez les personnes âgées saines. Deuxièmement, il serait cliniquement intéressant d'explorer les effets du sprint sur les paramètres osseux et la force musculaire chez les sujets sarcopéniques. Quatrièmement explorer les effets de l'entraînement de sprint sur les paramètres osseux chez les femmes en surpoids ou obèses . Cinquièmement explorer les effets d'autres activités de course vitesse comme (haies, relais) sur les paramètres osseux chez les femmes ou hommes en surpoids ou obèses. Dernièrement, il serait raisonnable de rédiger une méta-analyse sur l'efficacité de l'entraînement en sprint sur les paramètres osseux.

## **Applications Pratiques**

Chez les jeunes hommes en surpoids et obèses, l'entraînement en sprint augmente la DMO lombaire et plusieurs paramètres osseux. La taille d'effet calculé pour le groupe expérimental dans notre étude était proche ou similaire de la taille d'effet calculé dans d'autres groupes ayant réalisé d'autres types d'entraînement (force ou endurance). Pour conclure, l'entraînement en sprint peut avoir un rôle préventif contre l'ostéoporose et les risques de fractures plus tard dans la vie.

## Références

- Ackerman KE, Skrinar GS, Medvedova E, Misra M, Miller KK. Estradiol levels predict bone mineral density in male collegiate athletes: a pilot study. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2012 Mar;76(3):339-45. doi: 10.1111/j.1365-2265.2011.04212.x. PMID: 21942923; PMCID: PMC3274603.
- Alos, N., & Rauch, F. (2009). Acquisition de la masse osseuse chez l'enfant : physiopathologie et évaluation [Bone mass acquisition in children: pathophysiology and evaluation]. *Archives de pédiatrie : organe officiel de la Société française de pédiatrie*, 16(6), 591–593. [https://doi.org/10.1016/S0929-693X\(09\)74078-3](https://doi.org/10.1016/S0929-693X(09)74078-3)
- Alwan, A., Rizkallah, M., Maalouf, G., Matta, J., Frenn, F., Berro, A. J., Barakat, A., Bachour, F., Sebaaly, A., Howayek, M., Zouhal, H., & El Hage, R. (2018). Positive Correlations Between Free Vitamin D and Bone Variables in a Group of Young Lebanese Men. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 21(3), 459–461. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.02.001>
- 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>
- Bacchetta, J., Ginhoux, T., Bernoux, D., Dubourg, L., Ranchin, B., & Roger, C. (2019). Assessment of mineral and bone biomarkers highlights a high frequency of hypercalciuria in asymptomatic healthy teenagers. *Acta paediatrica (Oslo, Norway: 1992)*, 108(12), 2253–2260. <https://doi.org/10.1111/apa.14907>
- Bailey, D. A., Wedge, J. H., McCulloch, R. G., Martin, A. D., & Bernhardson, S. C. (1989). Epidemiology of fractures of the distal end of the radius in children as associated with growth. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 71(8), 1225–1231.
- Bailey, D., McKay, H., Mirwald, R., Crocker, P., Faulkner, R., (1999). A Six-Year Longitudinal Study of the Relationship of Physical Activity to Bone Mineral Accrual in Growing Children: The

University of Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study, *J Bone Miner Res*, [https://DOI: 10.1359/jbmr.1999.14.10.1672](https://doi.org/10.1359/jbmr.1999.14.10.1672)

Bass, E., French, D. D., Bradham, D. D., & Rubenstein, L. Z. (2007). Risk-adjusted mortality rates of elderly veterans with hip fractures. *Annals of epidemiology*, 17(7), 514–519. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2006.12.004>

Bass, R., & Eneli, I. (2015). Severe childhood obesity: an under-recognised and growing health problem. *Postgraduate medical journal*, 91(1081), 639–645. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2014-133033>

Bass, S. L., Saxon, L., Daly, R. M., Turner, C. H., Robling, A. G., Seeman, E., & Stuckey, S. (2002). The effect of mechanical loading on the size and shape of bone in pre-, peri-, and postpubertal girls: a study in tennis players. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 17(12), 2274–2280. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.12.2274>

Baxter-Jones, A. D., Faulkner, R. A., Forwood, M. R., Mirwald, R. L., & Bailey, D. A. (2011). Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: an estimation of peak bone mass. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 26(8), 1729–1739. <https://doi.org/10.1002/jbmr.412>

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>

Bellido, T., Hill Gallant, K., (2019). Chapter 15 - Hormonal Effects on Bone Cells, Editor(s): David B. Burr, Matthew R. Allen, *Basic and Applied Bone Biology (Second Edition)*, Pages 299-313, ISBN 9780128132593, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813259-3.00015-4>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128132593000154>)

Bellido, T., Saini, V., & Pajevic, P. D. (2013). Effects of PTH on osteocyte function. *Bone*, 54(2), 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.09.016>

- Bemben, D. A., Buchanan, T. D., Bemben, M. G., & Knehans, A. W. (2004). Influence of type of mechanical loading, menstrual status, and training season on bone density in young women athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 18(2), 220–226. <https://doi.org/10.1519/R-12652.1>
- Bensimhon, D. R., Kraus, W. E., & Donahue, M. P. (2006). Obesity and physical activity: a review. *American heart journal*, 151(3), 598–603. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2005.03.005>
- Berger, C., Goltzman, D., Langsetmo, L., Joseph, L., Jackson, S., Kreiger, N., Tenenhouse, A., Davison, K. S., Josse, R. G., Prior, J. C., Hanley, D. A., & CaMos Research Group (2010). Peak bone mass from longitudinal data: implications for the prevalence, pathophysiology, and diagnosis of osteoporosis. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 25(9), 1948–1957. <https://doi.org/10.1002/jbmr.95>
- Berro, A. J., Kazwini, S., Saeidi, A., Jayavel, A., Clark, C., 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>
- 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.jocd.2018.09.008>
- Bonjour, J. P., Ammann, P., Chevalley, T., & Rizzoli, R. (2001). Protein intake and bone growth. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee*, 26 Suppl, S153–S166. <https://doi.org/10.1139/h2001-050>
- 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., Chevalley, T., Rizzoli, R., & Ferrari, S. (2007). Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Medicine and sport science*, 51, 64–80. <https://doi.org/10.1159/000103005>

- Bonjour, J. P., Ferrari, S., Slosman, D., & Rizzoli, R. (1997). Apports calciques et croissance osseuse [Calcium intake and bone growth]. *Archives de pediatrie : organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, 4(8), 719–721. [https://doi.org/10.1016/s0929-693x\(97\)83407-0](https://doi.org/10.1016/s0929-693x(97)83407-0)
- Bousson, V., Bergot, C., Sutter, B., Thomas, T., Bendavid, S., Benhamou, C. L., Blain, H., Brazier, M., Breuil, V., Briot, K., Chapurlat, R., Chapuis, L., Cohen Solal, M., Fardellone, P., Feron, J. M., Gauvain, J. B., Laroche, M., Legrand, E., Lespessailles, E., Linglart, A., ... Groupe de Recherche et d'Information sur les Ostéoporoses (GRIO) (2015). Trabecular Bone Score : Where are we now ? *Joint bone spine*, 82(5), 320–325. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2015.02.005>
- Blanchet, C., Giguère, Y., Prud'homme, D., Dumont, M., Rousseau, F., & Dodin, S. (2002). Association of physical activity and bone: influence of vitamin D receptor genotype. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(1), 24–31. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00005>
- Brandou, F., Savy-Pacaux, A. M., Marie, J., Bauloz, M., Maret-Fleuret, I., Borrocoso, S., Mercier, J., & Brun, J. F. (2005). Impact of high- and low-intensity targeted exercise training on the type of substrate utilization in obese boys submitted to a hypocaloric diet. *Diabetes & metabolism*, 31(4 Pt 1), 327–335. [https://doi.org/10.1016/s1262-3636\(07\)70201-x](https://doi.org/10.1016/s1262-3636(07)70201-x)
- Breen, L., Philp, A., Witard, O. C., Jackman, S. R., Selby, A., Smith, K., Baar, K., & Tipton, K. D. (2011). The influence of carbohydrate-protein co-ingestion following endurance exercise on myofibrillar and mitochondrial protein synthesis. *The Journal of physiology*, 589(Pt 16), 4011–4025. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.211888>
- Brun, J. F., Varlet-Marie, E., Connes, P., & Aloulou, I. (2010). Hemorheological alterations related to training and overtraining. *Biorheology*, 47(2), 95–115. <https://doi.org/10.3233/BIR-2010-0563>
- 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)
- Canalis, E., Giustina, A., & Bilezikian, J. P. (2007). Mechanisms of anabolic therapies for osteoporosis. *The New England journal of medicine*, 357(9), 905–916. <https://doi.org/10.1056/NEJMra067395>



- Carbuhn, A. F., Fernandez, T. E., Bragg, A. F., Green, J. S., & Crouse, S. F. (2010). Sport and training influence bone and body composition in women collegiate athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 24(7), 1710–1717. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d09eb3>
- Cashman K. D. (2007). Diet, nutrition, and bone health. *The Journal of nutrition*, 137(11 Suppl), 2507S–2512S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.11.2507S>
- Cauley, J. A., Lacroix, A. Z., Wu, L., Horwitz, M., Danielson, M. E., Bauer, D. C., Lee, J. S., Jackson, R. D., Robbins, J. A., Wu, C., Stanczyk, F. Z., LeBoff, M. S., Wactawski-Wende, J., Sarto, G., Ockene, J., & Cummings, S. R. (2008). Serum 25-hydroxyvitamin D concentrations and risk for hip fractures. *Annals of internal medicine*, 149(4), 242–250. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-149-4-200808190-00005>
- Chaplais, E., Naughton, G., Dutheil, F., Masurier, J., Greene, D., Pereira, B., Duclos, M., Thivel, D., & Courteix, D. (2020). Geometric and Mechanical Bone Response to a Multidisciplinary Weight Loss Intervention in Adolescents with Obesity: The ADIBOX Study. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 23(2), 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.06.002>
- 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>
- Chen, Y. S., Guo, Q., Guo, L. J., Liu, T., Wu, X. P., Lin, Z. Y., He, H. B., & Jiang, T. J. (2017). GDF8 inhibits bone formation and promotes bone resorption in mice. *Clinical and experimental pharmacology & physiology*, 44(4), 500–508. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.12728>
- Chevalley, T., Bonjour, J. P., Ferrari, S., & Rizzoli, R. (2008). High-protein intake enhances the positive impact of physical activity on BMC in prepubertal boys. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 23(1), 131–142. <https://doi.org/10.1359/jbmr.070907>
- 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>

Chew, C. K., & Clarke, B. L. (2018). Causes of low peak bone mass in women. *Maturitas*, 111, 61–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2017.12.010>

Cho, M. R., Shin, J. Y., Hwang, J. H., Jacobs, D. R., Jr, Kim, S. Y., & Lee, D. H. (2011). Associations of fat mass and lean mass with bone mineral density differ by levels of persistent organic pollutants: National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2004. *Chemosphere*, 82(9), 1268–1276.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.12.031>

Clowes, J. A., Hannon, R. A., Yap, T. S., Hoyle, N. R., Blumsohn, A., & Eastell, R. (2002). Effect of feeding on bone turnover markers and its impact on biological variability of measurements. *Bone*, 30(6), 886–890. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(02\)00728-7](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(02)00728-7)

Clowes, J. A., Robinson, R. T., Heller, S. R., Eastell, R., & Blumsohn, A. (2002). Acute changes of bone turnover and PTH induced by insulin and glucose: euglycemic and hypoglycemic hyperinsulinemic clamp studies. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 87(7), 3324–3329. <https://doi.org/10.1210/jcem.87.7.8660>

Colpitts, B. H., Seaman, K., Eadie, A. L., Brunt, K. R., Bouchard, D. R., & Sénéchal, M. (2021). Effects of sprint interval training on substrate oxidation in adults living with and without obesity: The i-FLEX study. *Physiological reports*, 9(11), e14916. <https://doi.org/10.14814/phy2.14916>

Cooper, C., Dennison, E. M., Leufkens, H. G., Bishop, N., & van Staa, T. P. (2004). Epidemiology of childhood fractures in Britain: a study using the general practice research database. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 19(12), 1976–1981. <https://doi.org/10.1359/JBMR.040902>

Ducher, G., Tournaire, N., Meddahi-Pellé, A., Benhamou, C. L., & Courteix, D. (2006). Short-term and long-term site-specific effects of tennis playing on trabecular and cortical bone at the distal radius. *Journal of bone and mineral metabolism*, 24(6), 484–490. <https://doi.org/10.1007/s00774-006-0710-3>

- Duclos M. (2021). Les bénéfices de la pratique d'une activité physique pour la santé [The health benefits of physical activity]. *Revue de l'infirmière*, 70(275), 16–19. <https://doi.org/10.1016/j.revinf.2021.08.006>
- Duren, D. L., Sherwood, R. J., Choh, A. C., Czerwinski, S. A., Chumlea, W. C., Lee, M., Sun, S. S., Demerath, E. W., Siervogel, R. M., & Towne, B. (2007). Quantitative genetics of cortical bone mass in healthy 10-year-old children from the Fels Longitudinal Study. *Bone*, 40(2), 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.09.015>
- Duthon, V. B., Ozturk, M., El-Achachi, S., & Menetrey, J. (2014). Effets délétères du tabagisme sur l'appareil musculo-squelettique [Deleterious effects of smoking on the musculoskeletal system]. *Revue médicale suisse*, 10(437), 1466–1471.
- 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., Bachour, F., Khairallah, W., Bedran, F., Maalouf, N., Zakhem, E., Issa, M., Adib, G., & Maalouf, G. (2014). The influence of obesity and overweight on hip bone mineral density in Lebanese women. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 17(1), 216–217. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.03.015>
- El Hage, R., Bachour, F., Sebaaly, A., Issa, M., Zakhem, E., & Maalouf, G. (2014). The influence of weight status on radial bone mineral density in Lebanese women. *Calcified tissue international*, 94(4), 465–467. <https://doi.org/10.1007/s00223-013-9822-7>
- El Hage, R., Bachour, F., Khairallah, W., Issa, M., Eid, R., Adib, G., & Maalouf, G. (2014). Lumbar spine bone mineral density in obese, overweight, and normal-weight Lebanese postmenopausal women. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 17(1), 215–216. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.03.013>
- El Hage, R., Bachour, F., Sebaaly, A., Issa, M., Zakhem, E., & Maalouf, G. (2014). The influence of weight status on radial bone mineral density in Lebanese women. *Calcified tissue international*, 94(4), 465–467. <https://doi.org/10.1007/s00223-013-9822-7>
- El Hage, R., Zakhem, E., Zunquin, G., Theunynck, D., Moussa, E., & Maalouf, G. (2015). Performances in vertical jump and horizontal jump tests are positive determinants of hip bone

- mineral density in a group of young adult men. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 18(1), 136–137. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.03.016>
- El Hage, R., Khairallah, W., Bachour, F., Issa, M., Bedran, F., Zakhem, E., Nasser-Eddine, F., Eid, R., Fayad, F., & Maalouf, G. (2014). Is obesity protective against vertebral deformities in Lebanese women?. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 17(3), 433–434. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.03.017>
- 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>
- Eisman J. A. (1999). Genetics of osteoporosis. *Endocrine reviews*, 20(6), 788–804. <https://doi.org/10.1210/edrv.20.6.0384>
- 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 Khoury, C., Toumi, H., Lespessailles, E., Pinti, A., El Khoury, G., Maalouf, G., Zakhem, E., Ayoub, M. L., Watelain, E., & El Hage, R. (2017). Decreased Composite Indices of Femoral Neck Strength in Young Obese Men. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 20(2), 268–270. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.03.013>
- El Khoury, G., Zouhal, H., Cabagno, G., Maalouf, G., El Khoury, C., Zakhem, E., Berro, A. J., & El Hage, R. (2018). Maximal Oxygen Consumption and Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Overweight and Obese Men. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 21(2), 310–311. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.09.004>

- El Khoury, G., Zouhal, H., Cabagno, G., El Khoury, C., Rizkallah, M., Maalouf, G., & El Hage, R. (2017). Bone Variables in Active Overweight/Obese Men and Sedentary Overweight/Obese Men. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 20(2), 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.10.009>
- Eller-Vainicher, C., Falchetti, A., Gennari, L., Cairoli, E., Bertoldo, F., Vescini, F., Scillitani, A., & Chiodini, I. (2019). DIAGNOSIS OF ENDOCRINE DISEASE: Evaluation of bone fragility in endocrine disorders. *European journal of endocrinology*, EJE-18-0991.R1. Advance online publication. <https://doi.org/10.1530/EJE-18-0991>
- Emslander, H. C., Sinaki, M., Muhs, J. M., Chao, E. Y., Wahner, H. W., Bryant, S. C., Riggs, B. L., & Eastell, R. (1998). Bone mass and muscle strength in female college athletes (runners and swimmers). *Mayo Clinic proceedings*, 73(12), 1151–1160. <https://doi.org/10.4065/73.12.1151>
- Etherington, J., Harris, P. A., Nandra, D., Hart, D. J., Wolman, R. L., Doyle, D. V., & Spector, T. D. (1996). The effect of weight-bearing exercise on bone mineral density: a study of female ex-elite athletes and the general population. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 11(9), 1333–1338. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650110918>
- Evatt M. L. (2015). Vitamin D associations and sleep physiology-promising rays of information. *Sleep*, 38(2), 171–172. <https://doi.org/10.5665/sleep.4386>
- 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 frequential self-questionnaire]. *Revue du rhumatisme et des maladies osteo-articulaires*, 58(2), 99–103.
- Fassio, A., Idolazzi, L., Rossini, M., Gatti, D., Adami, G., Giollo, A., & Viapiana, O. (2018). The obesity paradox and osteoporosis. *Eating and weight disorders: EWD*, 23(3), 293–302. <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0505-2>
- Ferrari, S. L., Chevalley, T., Bonjour, J. P., & Rizzoli, R. (2006). Childhood fractures are associated with decreased bone mass gain during puberty: an early marker of persistent bone fragility? *Journal*

of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 21(4), 501–507. <https://doi.org/10.1359/jbmr.051215>

Ferrari, S., Rizzoli, R., & Bonjour, J. P. (1999). Genetic aspects of osteoporosis. Current opinion in rheumatology, 11(4), 294–300. <https://doi.org/10.1097/00002281-199907000-00013>

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>

Fintini, D., Cianfarani, S., Cofini, M., Andreoletti, A., Ubertini, G. M., Cappa, M., & Manco, M. (2020). The Bones of Children With Obesity. *Frontiers in endocrinology*, 11, 200. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00200>

Fredericson, M., Chew, K., Ngo, J., Cleek, T., Kiratli, J., & Cobb, K. (2007). Regional bone mineral density in male athletes: a comparison of soccer players, runners and controls. *British journal of sports medicine*, 41(10), 664–668. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.030783>

Frost H. M. (2000). The Utah paradigm of skeletal physiology: an overview of its insights for bone, cartilage and collagenous tissue organs. *Journal of bone and mineral metabolism*, 18(6), 305–316. <https://doi.org/10.1007/s007740070001>

Fu, X., Zhao, X., Lu, H., Jiang, F., Ma, X., & Zhu, S. (2011). Association between sleep duration and bone mineral density in Chinese women. *Bone*, 49(5), 1062–1066. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2011.08.008>

Galusca B., Germain N., Estour B. (2016.). Maigreur, os et risque fracturaire, *Médecine des Maladies Métaboliques*, Volume 10, Issue 1, Pages 16-21, ISSN 1957-2557, [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(16\)30004-9](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(16)30004-9).

- Garnero, P., Sornay-Rendu, E., & Delmas, P. D. (2000). Low serum IGF-1 and occurrence of osteoporotic fractures in postmenopausal women. *Lancet (London, England)*, 355(9207), 898–899. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(99\)05463-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(99)05463-x)
- Gerbaix, M., Metz, L., Mac-Way, F., Lavet, C., Guillet, C., Walrand, S., Masgrau, A., Linossier, M. T., Vico, L., & Courteix, D. (2012). Impact of an obesogenic diet program on bone densitometry, micro architecture and metabolism in male rat. *Lipids in health and disease*, 11, 91. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-91>
- Giustina, A., Mazziotti, G., & Canalis, E. (2008). Growth hormone, insulin-like growth factors, and the skeleton. *Endocrine reviews*, 29(5), 535–559. <https://doi.org/10.1210/er.2007-0036>
- Gkastaris, K., Goulis, D. G., Potoupnis, M., Anastasilakis, A. D., & Kapetanios, G. (2020). Obesity, osteoporosis and bone metabolism. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 20(3), 372–381.
- Goisser, S., Kemmler, W., Porzel, S., Volkert, D., Sieber, C. C., Bollheimer, L. C., & Freiburger, E. (2015). Sarcopenic obesity and complex interventions with nutrition and exercise in community-dwelling older persons--a narrative review. *Clinical interventions in aging*, 10, 1267–1282. <https://doi.org/10.2147/CIA.S82454>
- Gomez-Bruton, A., Montero-Marín, J., González-Agüero, A., García-Campayo, J., Moreno, L. A., Casajús, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2016). The Effect of Swimming During Childhood and Adolescence on Bone Mineral Density: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(3), 365–379. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0427-3>
- Goulding, A., Taylor, R. W., Jones, I. E., McAuley, K. A., Manning, P. J., & Williams, S. M. (2000). Overweight and obese children have low bone mass and area for their weight. *International journal of obesity and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity*, 24(5), 627–632. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801207>
- Grineva, E. N., Karonova, T., Micheeva, E., Belyaeva, O., & Nikitina, I. L. (2013). Vitamin D deficiency is a risk factor for obesity and diabetes type 2 in women at late reproductive age. *Aging*, 5(7), 575–581. <https://doi.org/10.18632/aging.100582>

- Guadalupe-Grau, A., Fuentes, T., Guerra, B., & Calbet, J. A. (2009). Exercise and bone mass in adults. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(6), 439–468. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00002>
- Hagströmer, M., Oja, P., & Sjöström, M. (2006). The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity. *Public health nutrition*, 9(6), 755–762. <https://doi.org/10.1079/phn2005898>
- Hannan, M. T., Tucker, K. L., Dawson-Hughes, B., Cupples, L. A., Felson, D. T., & Kiel, D. P. (2000). Effect of dietary protein on bone loss in elderly men and women: the Framingham Osteoporosis Study. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 15(12), 2504–2512. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2000.15.12.2504>
- Heaney R. P. (2008). Vitamin D in health and disease. *Clinical journal of the American Society of Nephrology: CJASN*, 3(5), 1535–1541. <https://doi.org/10.2215/CJN.01160308>
- Heiniö, L., Nikander, R., & Sievänen, H. (2015). Association between long-term exercise loading and lumbar spine trabecular bone score (TBS) in different exercise loading groups. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 15(3), 279–285.
- Hidaka, A., Shimazu, T., Sawada, N., Yamaji, T., Iwasaki, M., Sasazuki, S., Inoue, M., Tsugane, S., & Japan Public Health Center–based Prospective Study Group (2015). Fish, n-3 PUFA consumption, and pancreatic cancer risk in Japanese: a large, population-based, prospective cohort study. *The American journal of clinical nutrition*, 102(6), 1490–1497. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.113597>
- Hirsch, K. R., Smith-Ryan, A. E., Trexler, E. T., & Roelofs, E. J. (2016). Body Composition and Muscle Characteristics of Division I Track and Field Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 30(5), 1231–1238. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001203>
- Holloway, K. L., Brennan, S. L., Kotowicz, M. A., Bucki-Smith, G., Timney, E. N., Dobbins, A. G., Williams, L. J., & Pasco, J. A. (2015). Prior fracture as a risk factor for future fracture in an Australian cohort. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 26(2), 629–635. <https://doi.org/10.1007/s00198-014-2897-9>



- Huncharek, M., Muscat, J., & Kupelnick, B. (2008). Impact of dairy products and dietary calcium on bone-mineral content in children: results of a meta-analysis. *Bone*, 43(2), 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.02.022>
- Ihle, R., & Loucks, A. B. (2004). Dose-response relationships between energy availability and bone turnover in young exercising women. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 19(8), 1231–1240. <https://doi.org/10.1359/JBMR.040410>
- 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 master's athletes. *Archives of osteoporosis*, 15(1), 87. <https://doi.org/10.1007/s11657-020-00757-w>
- Iuliano-Burns, S., Saxon, L., Naughton, G., Gibbons, K., & Bass, S. L. (2003). Regional specificity of exercise and calcium during skeletal growth in girls: a randomized controlled trial. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 18(1), 156–162. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2003.18.1.156>
- Jackuliak, P., Kužma, M., & Payer, J. (2019). Effect of antidiabetic treatment on bone. *Physiological research*, 68(Suppl 2), S107–S120. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934297>
- Johnson, J. L., Slentz, C. A., Houmard, J. A., Samsa, G. P., Duscha, B. D., Aiken, L. B., McCartney, J. S., Tanner, C. J., & Kraus, W. E. (2007). Exercise training amount and intensity effects on metabolic syndrome (from Studies of a Targeted Risk Reduction Intervention through Defined Exercise). *The American journal of cardiology*, 100(12), 1759–1766. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.07.027>
- Judith Desoutter, Romuald Mentaverri, Michel Brazier, Said Kamel, *Physiological and pathological bone remodeling. Revue Francophone des Laboratoires* Volume 2012, Issue 446, November 2012, Pages 33-42. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(12\)71733-1](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(12)71733-1)

- Julian, V., O'Malley, G., Metz, L., Weghuber, D., Courteix, D., Fillon, A., Boirie, Y., Duclos, M., Pereira, B., & Thivel, D. (2021). Does the severity of obesity influence bone density, geometry and strength in adolescents? *Pediatric obesity*, *16*(12), e12826. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12826>
- Kanis, J. A., Borgstrom, F., De Laet, C., Johansson, H., Johnell, O., Jonsson, B., Oden, A., Zethraeus, N., Pflieger, B., & Khaltsev, N. (2005). Assessment of fracture risk. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, *16*(6), 581–589. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1780-5>
- Kanis, J. A., Johnell, O., Oden, A., Johansson, H., & McCloskey, E. (2008). FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, *19*(4), 385–397. <https://doi.org/10.1007/s00198-007-0543-5>
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2006). Exercise and bone mineral density at the femoral neck in postmenopausal women: a meta-analysis of controlled clinical trials with individual patient data. *American journal of obstetrics and gynecology*, *194*(3), 760–767. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2005.09.006>
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Kohrt, W. M. (2013). Exercise and bone mineral density in premenopausal women: a meta-analysis of randomized controlled trials. *International journal of endocrinology*, *2013*, 741639. <https://doi.org/10.1155/2013/741639>
- Kemmler, W., Engelke, K., Baumann, H., Beeskow, C., von Stengel, S., Weineck, J., & Kalender, W. A. (2006). Bone status in elite male runners. *European journal of applied physiology*, *96*(1), 78–85. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0060-1>
- Khosla, S., Atkinson, E. J., Dunstan, C. R., & O'Fallon, W. M. (2002). Effect of estrogen versus testosterone on circulating osteoprotegerin and other cytokine levels in normal elderly men. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, *87*(4), 1550–1554. <https://doi.org/10.1210/jcem.87.4.8397>

- Kim, S. H., Lee, S. J., Kang, E. S., Kang, S., Hur, K. Y., Lee, H. J., Ahn, C. W., Cha, B. S., Yoo, J. S., & Lee, H. C. (2006). Effects of lifestyle modification on metabolic parameters and carotid intima-media thickness in patients with type 2 diabetes mellitus. *Metabolism: clinical and experimental*, 55(8), 1053–1059. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2006.03.017>
- Kim, Y. S., Nam, J. S., Yeo, D. W., Kim, K. R., Suh, S. H., & Ahn, C. W. (2015). The effects of aerobic exercise training on serum osteocalcin, adipocytokines and insulin resistance on obese young males. *Clinical endocrinology*, 82(5), 686–694. <https://doi.org/10.1111/cen.12601>
- 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>
- Khawaja, A., Sabbagh, P., Prioux, J., Zunquin, G., Baquet, G., Maalouf, G., Hage, Z. E., Antoun, A., & El Hage, R. (2021). The Relationships Between Skeletal Muscle Index and Bone Variables in a Group of Young Adults. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(1), 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2019.02.007>
- Klein-Nulend, J., Bakker, A. D., Bacabac, R. G., Vatsa, A., & Weinbaum, S. (2013). Mechanosensation and transduction in osteocytes. *Bone*, 54(2), 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.10.013>
- 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>
- Kolnes, K. J., Petersen, M. H., Lien-Iversen, T., Højlund, K., & Jensen, J. (2021). Effect of Exercise Training on Fat Loss-Energetic Perspectives and the Role of Improved Adipose Tissue Function and Body Fat Distribution. *Frontiers in physiology*, 12, 737709. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.737709>
- 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>

Kurgan, N., Islam, H., Matusiak, J., Baranowski, B. J., Stoikos, J., Fajardo, V. A., MacPherson, R., Gurd, B. J., & Klentrou, P. (2022). Subcutaneous adipose tissue sclerostin is reduced and Wnt signaling is enhanced following 4-weeks of sprint interval training in young men with obesity. *Physiological reports*, 10(6), e15232. <https://doi.org/10.14814/phy2.15232>

Larsen, M. N., Nielsen, C. M., Helge, E. W., Madsen, M., Manniche, V., Hansen, L., Hansen, P. R., Bangsbo, J., & Krstrup, P. (2018). Positive effects on bone mineralisation and muscular fitness after 10 months of intense school-based physical training for children aged 8-10 years: the FIT FIRST randomised controlled trial. *British journal of sports medicine*, 52(4), 254–260. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096219>

Layne, J. E., & Nelson, M. E. (1999). The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(1), 25–30. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00006>

Lehtonen-Veromaa, M. K., Möttönen, T. T., Nuotio, I. O., Irjala, K. M., Leino, A. E., & Viikari, J. S. (2002). Vitamin D and attainment of peak bone mass among peripubertal Finnish girls: a 3-y prospective study. *The American journal of clinical nutrition*, 76(6), 1446–1453. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.6.1446>

Lemes, Í. R., Ferreira, P. H., Linares, S. N., Machado, A. F., Pastre, C. M., & Netto, J., Júnior (2016). Resistance training reduces systolic blood pressure in metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British journal of sports medicine*, 50(23), 1438–1442. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094715>

Lester, M. E., Urso, M. L., Evans, R. K., Pierce, J. R., Spiering, B. A., Maresh, C. M., Hatfield, D. L., Kraemer, W. J., & Nindl, B. C. (2009). Influence of exercise mode and osteogenic index on bone biomarker responses during short-term physical training. *Bone*, 45(4), 768–776. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2009.06.001>

- Liao, C., Liang, S., Wang, Y., Zhong, T., & Liu, X. (2022). Sclerostin is a promising therapeutic target for oral inflammation and regenerative dentistry. *Journal of translational medicine*, 20(1), 221. <https://doi.org/10.1186/s12967-022-03417-4>
- Lindström, J., Ilanne-Parikka, P., Peltonen, M., Aunola, S., Eriksson, J. G., Hemiö, K., Hämäläinen, H., Härkönen, P., Keinänen-Kiukaanniemi, S., Laakso, M., Louheranta, A., Mannelin, M., Paturi, M., Sundvall, J., Valle, T. T., Uusitupa, M., Tuomilehto, J., & Finnish Diabetes Prevention Study Group (2006). Sustained reduction in the incidence of type 2 diabetes by lifestyle intervention: follow-up of the Finnish Diabetes Prevention Study. *Lancet (London, England)*, 368(9548), 1673–1679. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69701-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69701-8)
- Liu, J., Curtis, E. M., Cooper, C., & Harvey, N. C. (2019). State of the art in osteoporosis risk assessment and treatment. *Journal of endocrinological investigation*, 42(10), 1149–1164. <https://doi.org/10.1007/s40618-019-01041-6>
- Locatelli, V., & Bianchi, V. E. (2014). Effect of GH/IGF-1 on Bone Metabolism and Osteoporosis. *International journal of endocrinology*, 2014, 235060. <https://doi.org/10.1155/2014/235060>
- Lombardi, G., Sanchis-Gomar, F., Perego, S., Sansoni, V., & Banfi, G. (2016). Implications of exercise-induced adipo-myokines in bone metabolism. *Endocrine*, 54(2), 284–305. <https://doi.org/10.1007/s12020-015-0834-0>
- MacKelvie, K. J., McKay, H. A., Petit, M. A., Moran, O., & Khan, K. M. (2002). Bone mineral response to a 7-month randomized controlled, school-based jumping intervention in 121 prepubertal boys: associations with ethnicity and body mass index. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 17(5), 834–844. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.5.834>
- MacKelvie, K. J., Petit, M. A., Khan, K. M., Beck, T. J., & McKay, H. A. (2004). Bone mass and structure are enhanced following a 2-year randomized controlled trial of exercise in prepubertal boys. *Bone*, 34(4), 755–764. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2003.12.017>
- Maimoun, L., Mura, T., Leprieur, E., Avignon, A., Mariano-Goulart, D., & Sultan, A. (2016). Impact of obesity on bone mass throughout adult life: Influence of gender and severity of obesity. *Bone*, 90, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2015.11.020>

- Malkin, C. J., Pugh, P. J., Jones, R. D., Kapoor, D., Channer, K. S., & Jones, T. H. (2004). The effect of testosterone replacement on endogenous inflammatory cytokines and lipid profiles in hypogonadal men. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 89(7), 3313–3318. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-031069>
- Marwick, T. H., Hordern, M. D., Miller, T., Chyun, D. A., Bertoni, A. G., Blumenthal, R. S., Philippides, G., Rocchini, A., Council on Clinical Cardiology, American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, Council on Cardiovascular Disease in the Young, Council on Cardiovascular Nursing, Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism, & Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research (2009). Exercise training for type 2 diabetes mellitus: impact on cardiovascular risk: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 119(25), 3244–3262. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192521>
- Maurel, D. B., Boisseau, N., Benhamou, C. L., & Jaffre, C. (2012). Alcohol and bone: review of dose effects and mechanisms. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 23(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00198-011-1787-7>
- Miettinen, H. M., Pulkkinen, P., Jämsä, T., Koistinen, J., Simanainen, U., Tuomisto, J., Tuukkanen, J., & Viluksela, M. (2005). Effects of in utero and lactational TCDD exposure on bone development in differentially sensitive rat lines. *Toxicological sciences: an official journal of the Society of Toxicology*, 85(2), 1003–1012. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfi136>
- Miller, M. A., & Cappuccio, F. P. (2007). Inflammation, sleep, obesity and cardiovascular disease. *Current vascular pharmacology*, 5(2), 93–102. <https://doi.org/10.2174/157016107780368280>
- Mello, J. B., Pedretti, A., Bergmann, G. G., Gaya, A. R., Ubago-Guisado, E., & Gaya, A.C.A. (2022). Sprint and upper limbs power field tests for the screening of low bone mineral density in children. *Front. Physiol.* 13:1066462. doi: 10.3389/fphys.2022.1066462.
- 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>
- Mosti, M. P., Carlsen, T., Aas, E., Hoff, J., Stunes, A. K., & Syversen, U. (2014). Maximal strength training improves bone mineral density and neuromuscular performance in young adult women. *Journal of strength and conditioning research*, 28(10), 2935–2945. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000493>
- Nickols-Richardson, S. M., Miller, L. E., Wootten, D. F., Ramp, W. K., & Herbert, W. G. (2007). Concentric and eccentric isokinetic resistance training similarly increases muscular strength, fat-free soft tissue mass, and specific bone mineral measurements in young women. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 18(6), 789–796. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0305-9>
- Nieminen, P., Löppönen, T., Tolonen, U., Lanning, P., Knip, M., & Löppönen, H. (2002). Growth and biochemical markers of growth in children with snoring and obstructive sleep apnea. *Pediatrics*, 109(4), e55. <https://doi.org/10.1542/peds.109.4.e55>
- Nishi K, Endo D, Hasegawa T, Moriuchi T, Ogami-Takamura K, Saiki K, Murai K, Higashi T, Tsurumoto T, Manabe Y, Oyamada J. Similarities and Differences in Bone Mineral Density between Multiple Sites in the Same Individual: An Elderly Cadaveric Study. *Biomed Res Int*. 2022 Jun 7;2022:6094663. doi: 10.1155/2022/6094663. PMID: 35711524; PMCID: PMC9197619.
- Panday, K., Gona, A., & Humphrey, M. B. (2014). Medication-induced osteoporosis: screening and treatment strategies. *Therapeutic advances in musculoskeletal disease*, 6(5), 185–202. <https://doi.org/10.1177/1759720X14546350>
- Perri, M. G., Anton, S. D., Durning, P. E., Ketterson, T. U., Sydeman, S. J., Berlant, N. E., Kanasky, W. F., Jr, Newton, R. L., Jr, Limacher, M. C., & Martin, A. D. (2002). Adherence to exercise prescriptions: effects of prescribing moderate versus higher levels of intensity and frequency. *Health psychology: official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 21(5), 452–458.

- Petit, M. A., McKay, H. A., MacKelvie, K. J., Heinonen, A., Khan, K. M., & Beck, T. J. (2002). A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity-specific benefits on bone structural properties in girls: a hip structural analysis study. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 17(3), 363–372. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.3.363>
- 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>
- Ravnholt, T., Tybirk, J., Jørgensen, N. R., & Bangsbo, J. (2018). High-intensity intermittent "5-10-15" running reduces body fat, and increases lean body mass, bone mineral density, and performance in untrained subjects. *European journal of applied physiology*, 118(6), 1221–1230. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3851-x>
- Reid D. M. (2010). Update on the use of zoledronic acid in the management of osteoporosis. *Current osteoporosis reports*, 8(3), 145–150. <https://doi.org/10.1007/s11914-010-0021-4>
- Reid I. R. (2020). A broader strategy for osteoporosis interventions. *Nature reviews. Endocrinology*, 16(6), 333–339. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-0339-7>
- Reid I. R. (2008). Anti-resorptive therapies for osteoporosis. *Seminars in cell & developmental biology*, 19(5), 473–478. <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2008.08.002>
- Reid I. R. (2010). Fat and bone. *Archives of biochemistry and biophysics*, 503(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.06.027>
- Reid I. R. (2002). Relationships among body mass, its components, and bone. *Bone*, 31(5), 547–555. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(02\)00864-5](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(02)00864-5)
- Reid, K. F., Martin, K. I., Doros, G., Clark, D. J., Hau, C., Patten, C., Phillips, E. M., Frontera, W. R., & Fielding, R. A. (2015). Comparative effects of light or heavy resistance power training for improving lower extremity power and physical performance in mobility-limited older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 70(3), 374–380. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu156>



- Remer, T., Krupp, D., & Shi, L. (2014). Dietary protein's and dietary acid load's influence on bone health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(9), 1140–1150. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.627519>
- Rinonapoli, G., Pace, V., Ruggiero, C., Ceccarini, P., Bisaccia, M., Meccariello, L., & Caraffa, A. (2021). Obesity and Bone: A Complex Relationship. *International journal of molecular sciences*, 22(24), 13662. <https://doi.org/10.3390/ijms222413662>
- 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>
- Rizzoli, R., Boonen, S., Brandi, M. L., Burlet, N., Delmas, P., & Reginster, J. Y. (2008). The role of calcium and vitamin D in the management of osteoporosis. *Bone*, 42(2), 246–249. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.10.005>
- Robling, A. G., Castillo, A. B., & Turner, C. H. (2006). Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling. *Annual review of biomedical engineering*, 8, 455–498. <https://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.8.061505.095721>
- Rocher, E., El Hage, R., Chappard, C., Portier, H., Rochefort, G. Y., & Benhamou, C. L. (2013). Bone mineral density, hip bone geometry, and calcaneus trabecular bone texture in obese and normal-weight children. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 16(2), 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.02.001>
- Rosa, N., Simoes, R., Magalhães, F. D., & Marques, A. T. (2015). From mechanical stimulus to bone formation: A review. *Medical engineering & physics*, 37(8), 719–728. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2015.05.015>
- Rosen, C. J., & Bouxsein, M. L. (2006). Mechanisms of disease: is osteoporosis the obesity of bone? *Nature clinical practice. Rheumatology*, 2(1), 35–43.
- Rosen, C. J., & Klibanski, A. (2009). Bone, fat, and body composition: evolving concepts in the pathogenesis of osteoporosis. *The American journal of medicine*, 122(5), 409–414. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2008.11.027>

- Roux, S., & Mariette, X. (2010). RANK and RANKL expression in giant-cell tumour of bone. *The Lancet. Oncology*, 11(6), 514. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(10\)70076-0](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(10)70076-0)
- Roux S. (2010). New treatment targets in osteoporosis. *Joint bone spine*, 77(3), 222–228. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2010.02.004>
- Ruff, C. B., Walker, A., & Trinkaus, E. (1994). Postcranial robusticity in Homo. III: Ontogeny. *American journal of physical anthropology*, 93(1), 35–54. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330930103>
- Salus, M., Tillmann, V., Remmel, L., Unt, E., Mäestu, E., Parm, Ü., Mägi, A., Tali, M., & Jürimäe, J. (2022). Effect of supervised sprint interval training on cardiorespiratory fitness and body composition in adolescent boys with obesity. *Journal of sports sciences*, 1–8. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2125199>
- Savvidis, C., Tournis, S., & Dede, A. D. (2018). Obesity and bone metabolism. *Hormones (Athens, Greece)*, 17(2), 205–217. <https://doi.org/10.1007/s42000-018-0018-4>
- Shah, K., Armamento-Villareal, R., Parimi, N., Chode, S., Sinacore, D. R., Hilton, T. N., Napoli, N., Qualls, C., & Villareal, D. T. (2011). Exercise training in obese older adults prevents increase in bone turnover and attenuates decrease in hip bone mineral density induced by weight loss despite decline in bone-active hormones. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 26(12), 2851–2859. <https://doi.org/10.1002/jbmr.475>
- Shah, D. K., Missmer, S. A., Berry, K. F., Racowsky, C., & Ginsburg, E. S. (2011). Effect of obesity on oocyte and embryo quality in women undergoing in vitro fertilization. *Obstetrics and gynecology*, 118(1), 63–70. <https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e31821fd360>
- Shapses, S. A., & Sukumar, D. (2012). Bone metabolism in obesity and weight loss. *Annual review of nutrition*, 32, 287–309. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.012809.104655>
- Shehab, N., Lovegrove, M. C., Geller, A. I., Rose, K. O., Weidle, N. J., & Budnitz, D. S. (2016). US Emergency Department Visits for Outpatient Adverse Drug Events, 2013-2014. *JAMA*, 316(20), 2115–2125. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.16201>

- Sözen, T., Özişik, L., & Başaran, N. Ç. (2017). An overview and management of osteoporosis. *European journal of rheumatology*, 4(1), 46–56. <https://doi.org/10.5152/eurjrheum.2016.048>
- Specker, B., & Binkley, T. (2003). Randomized trial of physical activity and calcium supplementation on bone mineral content in 3- to 5-year-old children. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 18(5), 885–892. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2003.18.5.885>
- Specker, B., Thiex, N. W., & Sudhagani, R. G. (2015). Does Exercise Influence Pediatric Bone? A Systematic Review. *Clinical orthopaedics and related research*, 473(11), 3658–3672. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4467-7>
- 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>
- Steinbuch, M., Youket, T. E., & Cohen, S. (2004). Oral glucocorticoid use is associated with an increased risk of fracture. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 15(4), 323–328. <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1548-3>
- Suominen, T. H., Alén, M., Törmäkangas, T., Degens, H., Rittweger, J., Heinonen, A., Suominen, H., & Korhonen, M. T. (2021). Regular Strength and Sprint Training Counteracts Bone Aging: A 10-Year Follow-Up in Male Masters Athletes. *JBMR plus*, 5(7), e10513. <https://doi.org/10.1002/jbm4.10513>
- Suominen, T. H., Korhonen, M. T., Alén, M., Heinonen, A., Mero, A., Törmäkangas, T., & Suominen, H. (2017). Effects of a 20-week high-intensity strength and sprint training program on tibial bone structure and strength in middle-aged and older male sprint athletes: a randomized controlled trial. *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), 2663–2673. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4107-z>

- Tang, B. M., Eslick, G. D., Nowson, C., Smith, C., & Bensoussan, A. (2007). Use of calcium or calcium in combination with vitamin D supplementation to prevent fractures and bone loss in people aged 50 years and older: a meta-analysis. *Lancet (London, England)*, 370(9588), 657–666. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61342-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61342-7)
- Teichtahl, A. J., Wluka, A. E., Wijethilake, P., Wang, Y., Ghasem-Zadeh, A., & Cicuttini, F. M. (2015). Wolff's law in action: a mechanism for early knee osteoarthritis. *Arthritis research & therapy*, 17(1), 207. <https://doi.org/10.1186/s13075-015-0738-7>
- Tenforde, A. S., & Fredericson, M. (2011). Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM & R: the journal of injury, function, and rehabilitation*, 3(9), 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.05.019>
- The "Mechanostat Theory" of Frost and the OPG/RANKL/RANK System by Joanna B Tyrovola. (2016). *Journal of cellular biochemistry*, 117(2), 549. <https://doi.org/10.1002/jcb.25414>
- Thivel, D., Courteix, D., Chaplais, E., & Pereira, B. (2019). Systematic and meta-analytic analysis of cross-sectional and longitudinal explorations of bone health in youth with obesity: from methodological considerations to clinical relevance. *Journal of bone and mineral metabolism*, 37(6), 1104–1105. <https://doi.org/10.1007/s00774-019-01015-x>
- Tomita, D., Suga, T., Terada, M., Tanaka, T., Miyake, Y., Ueno, H., Otsuka, M., Nagano, A., & Isaka, T. (2020). A pilot study on a potential relationship between leg bone length and sprint performance in sprinters; are there any event-related differences in 100-m and 400-m sprints? *BMC research notes*, 13(1), 297. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05140-z>
- Turner, C. H., & Robling, A. G. (2003). Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exercise and sport sciences reviews*, 31(1), 45–50. <https://doi.org/10.1097/00003677-200301000-00009>
- Turner, C. H., & Robling, A. G. (2005). Exercises for improving bone strength. *British journal of sports medicine*, 39(4), 188–189. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.016923>
- Verbruggen, S. W., Mc Garrigle, M. J., Haugh, M. G., Voisin, M. C., & McNamara, L. M. (2015). Altered mechanical environment of bone cells in an animal model of short- and long-term osteoporosis. *Biophysical journal*, 108(7), 1587–1598. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2015.02.031>

- Vico, L., Collet, P., Guignandon, A., Lafage-Proust, M. H., Thomas, T., Rehaillia, M., & Alexandre, C. (2000). Effects of long-term microgravity exposure on cancellous and cortical weight-bearing bones of cosmonauts. *Lancet (London, England)*, 355(9215), 1607–1611. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(00\)02217-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(00)02217-0)
- Ward, K. A., Roberts, S. A., Adams, J. E., & Mughal, M. Z. (2005). Bone geometry and density in the skeleton of pre-pubertal gymnasts and school children. *Bone*, 36(6), 1012–1018. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.03.001>
- Weaver, C. M., Alexander, D. D., Boushey, C. J., Dawson-Hughes, B., Lappe, J. M., LeBoff, M. S., Liu, S., Looker, A. C., Wallace, T. C., & Wang, D. D. (2016). Calcium plus vitamin D supplementation and risk of fractures: an updated meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 27(1), 367–376. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3386-5>
- Whyte, L. J., Gill, J. M., & Cathcart, A. J. (2010). Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism: clinical and experimental*, 59(10), 1421–1428. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2010.01.002>
- Winett, R. A., & Carpinelli, R. N. (2001). Potential health-related benefits of resistance training. *Preventive medicine*, 33(5), 503–513. <https://doi.org/10.1006/pmed.2001.0909>
- Winzenberg, T., Shaw, K., Fryer, J., & Jones, G. (2006). Effects of calcium supplementation on bone density in healthy children: meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 333(7572), 775. <https://doi.org/10.1136/bmj.38950.561400.55>
- Wong, R., Hadjiyanni, I., Wei, H. C., Polevoy, G., McBride, R., Sem, K. P., & Brill, J. A. (2005). PIP2 hydrolysis and calcium release are required for cytokinesis in *Drosophila* spermatocytes. *Current biology: CB*, 15(15), 1401–1406. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.06.060>
- Wright, K. P., Jr, Drake, A. L., Frey, D. J., Fleshner, M., Desouza, C. A., Gronfier, C., & Czeisler, C. A. (2015). Influence of sleep deprivation and circadian misalignment on cortisol, inflammatory markers, and cytokine balance. *Brain, behavior, and immunity*, 47, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2015.01.004>

- Yang, Z., Scott, C. A., Mao, C., Tang, J., & Farmer, A. J. (2014). Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(4), 487–499. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0128-8>
- Yang, X., Tang, W., Mao, D., Shu, Q., Yin, H., Tang, C., Zhang, M., Li, C., & Ding, X. (2021). Prevalence and risk factors associated with osteoporosis among residents aged above 20 years old in Chongqing, China. *Archives of osteoporosis*, 16(1), 57. <https://doi.org/10.1007/s11657-021-00910-z>
- 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>
- Zheng, H. F., Tobias, J. H., Duncan, E., Evans, D. M., Eriksson, J., Paternoster, L., Yerges-Armstrong, L. M., Lehtimäki, T., Bergström, U., Kähönen, M., Leo, P. J., Raitakari, O., Laaksonen, M., Nicholson, G. C., Viikari, J., Ladouceur, M., Lyytikäinen, L. P., Medina-Gomez, C., Rivadeneira, F., Prince, R. L., ... Lorentzon, M. (2012). WNT16 influences bone mineral density, cortical bone thickness, bone strength, and osteoporotic fracture risk. *PLoS genetics*, 8(7), e1002745. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002745>
- Zhou, D., Liu, M., Gao, L., Shao, C., & Yu, J. (2013). Calcium accumulation characterization in the aerobic granules cultivated in a continuous-flow airlift bioreactor. *Biotechnology letters*, 35(6), 871–877. <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1157-y>
- Zouhal, H., Berro, A. J., Kazwini, S., Saeidi, A., Jayavel, A., Clark, C., 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.2022>

## Annexes

### Liste des articles/chapitres publiés :

Khawaja, A., **Kamlé, P.**, Maliha, E., Maalouf, G., Toumi, H., Pinti, A., & El Hage, R. (2021, July). Relationships Between Vertical Jump and Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Women. In International Conference on Bioengineering and Biomedical Signal and Image Processing (pp. 27-38). Springer, Cham.

Sabbagh, P., **Kamlé, P.**, Pinti, A., Farah, G., Saddick, H., Zakhem, E., ... & El Hage, R. (2020, May). Relationships Between Muscular Power and Bone Health Parameters in a Group of Young Lebanese Adults. In International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (pp. 119-129). Springer, Cham.

Sabbagh, P., Finianos, B., Zunquin, G., **Kamlé, P.**, Baquet, G., & Hage, R. E. (2020). Maximum oxygen consumption predicts bone mineral density in young adults. *Science & Sports*, 35(4), 241-242.

El Hage, Z., Theunynck, D., Jacob, C., Moussa, E., Baddoura, R., **Kamlé, P.**, & El Hage, R. (2011). Hip bone strength indices in overweight and control adolescent boys. *Journal of bone and mineral metabolism*, 29(6), 691-698.

### Communications dans des actes de congrès :

Zakhem, E., **Kamlé, P.**, El Khoury, C., & El Hage, R. (2019) Effets de l'activité physique sur les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de jeunes hommes. *Revue du Rhumatisme*, A267, PE-Lu.105.

**Article soumis :**

**Kamlé, P.**, et al. A one-year sprint training program improves bone mineral density and physical performance parameters in a group of young overweight men. Article under review (submitted to Journal of Clinical Densitometry).



**Pierre KAMLÉ**

**Effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids**

Résumé: L'objectif principal de cette thèse de doctorat était d'explorer les effets d'un an d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des jeunes hommes en surpoids. 43 jeunes hommes (dont l'âge est compris entre 18 et 26 ans) en surpoids (IMC > 25 kg/m<sup>2</sup>) ont participé à cette étude. La population a été divisée en deux groupes : groupe sprint (n = 21) et groupe témoin (n = 22). Les paramètres osseux, la composition corporelle, les paramètres de force maximale, la performance en sprint et les qualités de détente ont été mesurés avant et après la période d'entraînement. Le CMO CE, la DMO lombaire, la détente verticale, la détente horizontale, la performance en sprint, la force maximale en demi-squat et la force maximale en soulevé de terre ont augmenté chez le groupe sprint mais pas chez le groupe témoin. Une analyse de type 2-way-RM-ANOVA a démontré des interactions significatives groupe \* temps ont été observées pour les paramètres osseux et les paramètres de performance physique. En conclusion, la présente étude démontre que l'entraînement d'un an en sprint est une méthode efficace pour augmenter le CMO CE, la DMO lombaire, la force maximale et la détente verticale chez les jeunes hommes en surpoids.

Mots clés : Pic de masse osseuse ; Force musculaire ; Composition corporelle ; Prévention de l'ostéoporose ; Entraînement physique.

**Effects of a one-year sprint training program on bone parameters and physical performance parameters in a group of young overweight men**

Summary: The main aim of this PhD thesis was to explore the effects of a one-year sprint training program on bone parameters and physical performance parameters in a group of young overweight men. Forty-three young overweight men (BMI > 25 kg/m<sup>2</sup>) whose ages range from 18 to 26 years participated in the study. Subjects were assigned to two groups: experimental sprint group (n = 21) or control group (n = 22). Bone parameters, body composition, maximal strength parameters, sprinting performance and jumping performances were measured before and after the training period. The experimental group showed significant improvements in WB BMC, L2-L4 BMD, vertical jump, horizontal jump, sprinting performance, 1-RM half-squat and 1-RM deadlift, while the control group did not show any significant improvements in these parameters. A two-way-RM-ANOVA analysis showed significant group \* time interactions in bone health parameters and physical performance parameters. In conclusion, the current study shows that a one-year sprint training program improves whole body bone mineral content, lumbar spine BMD, maximal strength and vertical jump in young overweight men.

Keywords: Peak bone mass; Muscular strength; Body composition; Osteoporosis prevention; Physical Training.



**IDP Laboratory – UMR CNRS 7013, Orléans, France**

**Département d'Education Physique,  
Université de Balamand, Liban**