



HAL
open science

Effets d'un protocole récréatif de kung fu d'un an sur les paramètres de sante osseuse dans un groupe de jeunes hommes inactifs en bonne santé

Nour Khalil

► To cite this version:

Nour Khalil. Effets d'un protocole récréatif de kung fu d'un an sur les paramètres de sante osseuse dans un groupe de jeunes hommes inactifs en bonne santé. Médecine humaine et pathologie. Université Polytechnique Hauts-de-France; Institut national des sciences appliquées Hauts-de-France, 2023. Français. NNT : 2023UPHF0027 . tel-04429766

HAL Id: tel-04429766

<https://uphf.hal.science/tel-04429766v1>

Submitted on 23 Apr 2024

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

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

Thèse de doctorat

Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Polytechnique

Hauts-de-France et l'INSA Hauts- de-France

Sciences et Techniques des Activités

Physiques et Sportives Présentée et soutenue

par

Nour KHALIL

Le 16/11/2023 à ARENBERG CREATIVE MINE, LARSH,

École doctorale : École Doctorale Polytechnique Hauts-de-France (ED PHF n°635)

Unité de recherche : Laboratoire de Recherche Sociétés & Humanités (LARSH),
Département DeVisu

EFFETS D'UN PROTOCOLE RECREATIF DE KUNG FU D'UN AN SUR LES PARAMETRES DE SANTE OSSEUSE DANS UN GROUPE DE JEUNES HOMMES INACTIFS EN BONNE SANTE

Membres du JURY

Mme. Christelle JAFFRE	PU. Université de Picardie Jules Verne	Rapporteur
M. Hassane ZOUHAL	PU. Université de Rennes 2	Rapporteur
M. Bachir ZOUDJI	PU. Université Université Polytechnique Hauts-de-France	Président du jury
M. Zaher EL HAGE	MCF. Université Notre Dame, Louaize, Liban	Examineur
M. Rawad EL HAGE	PU. Université de Balamand, Liban	Co-directeur
M. Antonio PINTI	MCF. Université Polytechnique Hauts-de- France	Directeur

Remerciements

À la fin de ma thèse à l'Université Polytechnique Hauts de France, je tiens à remercier le laboratoire LARSH, le département STAPS de l'UPHF et le département d'Education Physique de l'Université de Balamand. Je tiens à remercier tous les sujets qui ont été essentiels dans ma thèse et à remercier tout particulièrement mes directeurs de thèse le professeur Rawad El Hage et le docteur Antonio Pinti.

Un grand merci à mon directeur de thèse, le professeur Rawad El Hage qui a dirigé ce travail pour sa patience, son sérieux et ses nombreux encouragements. Je le remercie de m'accorder son temps et de me donner la liberté de faire mon travail tout en gardant un regard critique et avisé sur celui-ci pendant ces 3 années.

Merci également à mon directeur, le docteur Antonio Pinti, pour l'élaboration de cette thèse et pour son aide dans mes différentes phases au cours des 3 dernières années.

Merci au centre médical Hamidi pour son aimable coopération avec moi et la facilité du travail lors de mes tests cliniques.

Merci à tous les sujets qui ont accepté de participer à ces différents protocoles de recherche.

Merci aux membres du jury (Professeur Bachir Zoudji et Dr. Zaher El Hage) et aux rapporteurs (Professeurs Christelle Jaffré et Hassane Zouhal) d'avoir accepté de participer à l'évaluation de cette thèse.

J'adresse mes sincères remerciements à ma Famille, mon père, ma mère et ma sœur pour leur soutien. Merci aussi à mes cousins M. Sohaib et M. Siraj pour leur présence à mes côtés durant ma thèse.

Liste des principales abréviations utilisées

1-RM	Répétition maximale
ATP	Adénosine triphosphate
B/M	Battement par minute
BSI	Indice de résistance à la flexion
CE	Corps Entier
CMO	Contenu minéral osseux
CSI	Indice de résistance à la compression
CSM	Cellules stromales mésenchymateuses
DEXA/DXA	Double absorptiométrie à rayons X
DMO	Densité minérale osseuse
FDA	Administration des aliments et des médicaments
HBP	Hypertrophie de la prostate
IGF-1	Facteur de croissance de l'insuline
IMC	Indice de masse corporelle
ISI	Indice de résistance aux chocs

PTH	Hormone parathyroïdienne
PTHrP	Protéine liée aux hormones parathyroïdiennes
RANK/RANKL	Activateur du récepteur du ligand du facteur nucléaire kappa-B
UI	Unité internationale
VO ₂	Volume maximal d'oxygène consommé
WHO	Organisation mondiale de la santé

Table des matières

	Page
Remerciements	1
Abréviations	2
Table des matières	4
Liste des Figures	7
Liste des Tableaux	9
Introduction	10
Première partie : Revue de la littérature	12
1. Généralités sur l'ostéoporose	12
1.1 Définition et diagnostic de l'ostéoporose	12
1.2 Epidémiologie de l'ostéoporose et des fractures de fragilité	15
1.3 Régulation au niveau cellulaire	17
1.4 Causes de l'ostéoporose	18
1.5 Facteurs de risque de l'ostéoporose	18
2. Le pic de masse osseuse	21
2.1 Définition et importance du pic de masse osseuse	21
2.2 Puberté et pic de masse osseuse	22
2.3 Facteurs influençant le pic de masse osseuse	24
2.4 Paramètres osseux mesurés chez les jeunes adultes par DXA	26
3. Contraintes mécaniques et tissu osseux	29
3.1 Influence de l'activité physique sur la DMO en fonction du type d'activité physique pratiqué	29
3.2 Influence de l'activité physique sur la DMO en fonction de l'âge du début de la pratique sportive	30
3.3 Principes et théories qui régissent la réponse ostéogénique à l'exercice physique	32

3.3.1 Loi de Wolff	32
3.3.2 Théorie du mécanostat	32
3.3.3 Principes de l'ACSM qui régissent la réponse ostéogénique à l'exercice physique	33
3.3.4 Principes de Burr, Robling et Turner	33
3.3.5 Théorie de la mécanotransduction ostéocytaire	34
3.4 Questionnaires ayant pour objectif de quantifier la réponse ostéogénique aux activités physiques	35
4. Influence de la pratique des sports de combats sur les paramètres osseux	37
4.1 Influence de la pratique du Judo sur les paramètres osseux	37
4.2 Influence de la pratique de la boxe sur les paramètres osseux	42
4.3 Influence de la pratique du Taekwondo sur les paramètres osseux	44
4.4 Influence de la pratique du Kick-Boxing sur les paramètres osseux	47
4.5 Influence de la pratique du Muay Thai sur les paramètres osseux	48
4.6 Influence de la pratique du Karaté sur les paramètres osseux	48
5. Influence du Kung-Fu sur les paramètres osseux	49
5.1 Tai Chi Chuan et prévention de l'ostéoporose	49
5.2 Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux	50
5.3 Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux	52
5.4 Résumé de plusieurs méta-analyses menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux	52
Deuxième partie : Contribution personnelle	53
Méthodologie générale	53
1. Conception des études	53
2. Sujets	54
3. Les mesures réalisées	54
3.1 Mesures anthropométriques	54

3.2 Mesures osseuses	54
3.3 Procédures des tests de performance physique	55
3.4 Questionnaires	55
3.5 Tests sanguins	55
3.6 Pression artérielle	55
4. Protocole de Kung Fu récréatif	56
5. Etude statistique	57
Etude préliminaire 1 : Relations entre indices de force maximale et paramètres de santé osseuse chez un groupe de personnes âgées	58
Etude préliminaire 2 : Un an d'entraînement en sprint améliore la densité minérale osseuse chez des jeunes hommes en surpoids	64
Etude principale 1 : Force relative des membres inférieurs et indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes adultes	68
Etude principale 2 : Les effets d'un protocole récréatif de Kung Fu d'un an sur les paramètres de santé osseuse dans un groupe de jeunes hommes inactifs en bonne santé	73
Discussion générale	87
Conclusions et perspectives	91
Bibliographie	92
Annexes	109
Résumé	110

Liste des Figures

Figure 1	Déterminants de la résistance mécanique de l'os (Bouxsein, 2013).	12
Figure 2	Généralités sur l'ostéoporose (Goldstein, 2015).	14
Figure 3	Principales causes d'ostéoporose secondaire (Sobh et coll. 2022).	15
Figure 4	Les principales recommandations canadiennes pour l'évaluation de l'ostéoporose et la prise en charge des fractures ostéoporotiques.	20
Figure 5	Evolution de la masse osseuse en fonction de l'âge dans les deux sexes (McDonnell. 2007).	21
Figure 6	Evolutions du CMO, de la DMO surfacique et de la DMO volumétrique en fonction de l'âge dans les deux sexes (Seeman et coll. 2001).	22
Figure 7	Evolutions des paramètres hormonaux et osseux pendant l'adolescence (Mackelvie et coll. 2002).	23
Figure 8	Importance relative des facteurs influençant le pic de masse osseuse en fonction de l'âge (Heaney, 1999)	24
Figure 9	Facteurs influençant le pic de masse osseuse (Bonjour et coll. 2009)	25
Figure 10	Simulation de l'influence du pic de masse osseuse sur le risque fracturaire plus tard dans la vie (Rizzoli et coll. 2010)	26
Figure 11	Forces de réaction au sol induites par différentes activités physiques (Groothausen et coll. 1997)	29
Figure 12	Un modèle fonctionnel de développement osseux chez les adolescents basé sur la théorie du mécanostat (Schoenau, 2005)	30
Figure 13	Comparaison des scores métaboliques et scores mécaniques de plusieurs activités sportives (Kemper et coll. 2002)	30
Figure 14	Différences entre bras dominant et bras non-dominant chez les joueurs de Tennis en fonction de l'âge du début de la pratique (Kannus et coll. 1995)	31
Figure 15	Transposition corticale nécessaire au changement de forme (Frost, 1994)	32
Figure 16	Fenêtres de contraintes mécaniques définies par la théorie du mécanostat de Frost (Forwood et Turner, 1995)	33

Figure 17	Théorie de la mécanotransduction ostéocytaire	35
Figure 18	Valeurs de DMO en fonction de la discipline sportive pratiquée (Agostinete et coll. 2020)	38
Figure 19	Comparaison des valeurs de DMOA en fonction de la pratique sportive d'après Agostinete et coll. (2020)	39

Liste des Tableaux

Tableau 1	Les principaux paramètres osseux évalués par DXA	27
Tableau 2	Questionnaires ayant pour objectif de quantifier la réponse ostéogénique aux activités physiques	35
Tableau 3	Indices d'unités de contraintes mécaniques de plusieurs sports de combats et arts martiaux en comparaison avec d'autres sports ostéogéniques	37
Tableau 4	Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Judo sur les paramètres osseux	40
Tableau 5	Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Judo sur les paramètres osseux	41
Tableau 6	Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence de la boxe sur les paramètres osseux	43
Tableau 7	Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Taekwondo sur les paramètres osseux	44
Tableau 8	Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Taekwondo sur les paramètres osseux	45
Tableau 9	Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du kick-Boxing sur les paramètres osseux	47
Tableau 10	Résumé de deux études menées sur l'influence du Muay Thai sur les paramètres osseux	48
Tableau 11	Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux	50
Tableau 12	Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux	52
Tableau 13	Conception des études	53

Introduction

La densité minérale osseuse (DMO) mesurée par absorptiomètre bioénergétique à rayons X (DXA) reste un bon prédicteur de la résistance osseuse et du risque de fracture (Pouresmaeili, 2018 ; WHO, 1994). Cependant, beaucoup de fractures surviennent chez les femmes ménopausées et les hommes âgés sans diagnostic densitométrique d'ostéoporose (Sornay-Rendu et coll. 2005 ; Szulc et coll. 2005). Les indices de géométrie osseuse, les variables de la microarchitecture osseuse et de la texture osseuse peuvent également prédire la solidité osseuse et le risque de fracture (Bonjour et coll. 2009 ; Karlamangla et coll. 2004). La prévalence globale des fractures de fragilité est plus élevée chez les femmes comparées aux hommes, mais les hommes ont généralement des taux plus élevés de mortalité liée aux fractures (Madeo et coll. 2007 ; Magaziner et coll. 1997). Ceci est vrai pour les fractures de la hanche, où une baisse de l'espérance de vie et une surmortalité ont été observées à un niveau plus élevé chez les hommes même après ajustement pour plusieurs covariants (Madeo et coll. 2007 ; Magaziner et coll. 1997). Le pic de masse osseuse (PMO) est un bon prédicteur du risque de fracture plus tard dans la vie (Bonjour et coll. 2009). Par exemple, une augmentation de 10 % du PMO pourrait réduire le risque de fracture de 50 % (Bonjour et coll. 2009). Le PMO est influencé par plusieurs facteurs tels que la génétique, l'ethnicité, l'origine, le sexe, la nutrition, les hormones, les contraintes mécaniques et de nombreuses interactions potentielles entre ces facteurs (Bonjour et coll. 2009 ; Magaziner et coll. 1997). Au Liban, les fractures de la hanche surviennent plus précocement qu'en occident, et 60 % des patients souffrant de fractures de la hanche souffrent d'ostéopénie plutôt que d'ostéoporose (Carter & Hinton, 2014). De plus, les valeurs pics de DMO sont inférieures à celles retrouvées dans des populations occidentales (El Hage et coll. 2011 ; Maalouf et coll. 2000). Des valeurs inférieures de DMO peuvent être liées à une carence en vitamine D et à une faible consommation de calcium, ce que l'on trouve couramment dans cette population (El Hage et coll. 2009 ; Fazah et coll. 2010). Enfin, la majorité des enfants et des adolescents libanais sont inactifs et ne suivent pas les recommandations directrices en matière d'activité physique (Abi Nader et coll. 2019 ; Fazah et coll. 2010).

A l'inverse, dans beaucoup de pays, les arts martiaux et les sports de combat gagnent en popularité chez les adolescents et les jeunes adultes (Ito et coll. 2017). La pratique du judo semble améliorer l'accumulation de masse osseuse chez les adolescents et est associée à des

valeurs de DMO plus élevées chez les adultes (Ciaccioni et coll. 2019 ; Ito et coll. 2017). Les effets du Tai Chi Chuan sur la DMO, l'équilibre et le risque de fracture ont été bien étudiés chez les femmes ménopausées (Cheng et coll. 2022 ; Gass, 2003). Néanmoins, les études examinant les bénéfices du Kung Fu sur ces paramètres sont limitées. Cet art martial demande force, puissance, endurance et équilibre (Jahnke et coll. 2010 ; McAnulty et coll. 2016). Le Kung Fu existe depuis des siècles et est généralement accepté comme étant bénéfique pour la santé sans beaucoup de données expérimentales (Jahnke et coll. 2010). Une étude longitudinale a démontré que la pratique du Kung Fu améliore le contrôle glycémique, le contrôle de la pression artérielle et le profil lipidique sanguin, en plus de diminuer l'indice de masse corporelle et la graisse corporelle chez les sujets obèses (Tsang et coll. 2009). Cependant, l'influence de la pratique du Kung Fu sur les paramètres de santé osseuse chez les jeunes adultes n'est pas complètement élucidée. L'objectif principal de l'étude actuelle était d'explorer les effets d'un protocole de Kung Fu récréatif d'un an sur les paramètres de santé osseuse (contenu minéral osseux (CMO), densité minérale osseuse (DMO), géométrie du col fémoral et indices de résistance osseuse du col fémoral)) chez un groupe de jeunes hommes inactifs en bonne santé. Nous avons émis l'hypothèse que ce programme d'entraînement d'un an améliorerait la DMO des sites chargés et les paramètres de performance physique dans la population étudiée.

La thèse actuelle inclut une revue de la littérature spécifique et concise, une méthodologie générale, deux études préliminaires et deux études principales ainsi qu'une discussion générale et des conclusions.

Première partie : Contribution personnelle

Revue de la littérature

1. Généralités sur l'ostéoporose

1.1 Définition et diagnostic de l'ostéoporose

L'ostéoporose est définie comme « une maladie diffuse du squelette caractérisée par une faible masse osseuse et une détérioration de la microarchitecture du tissu osseux, responsable d'une fragilité osseuse entraînant une augmentation du risque de fracture ». L'ostéoporose est associée à une diminution de la résistance mécanique de l'os qui dépend elle-même de plusieurs facteurs présents dans la figure suivante (NIH, 2001).

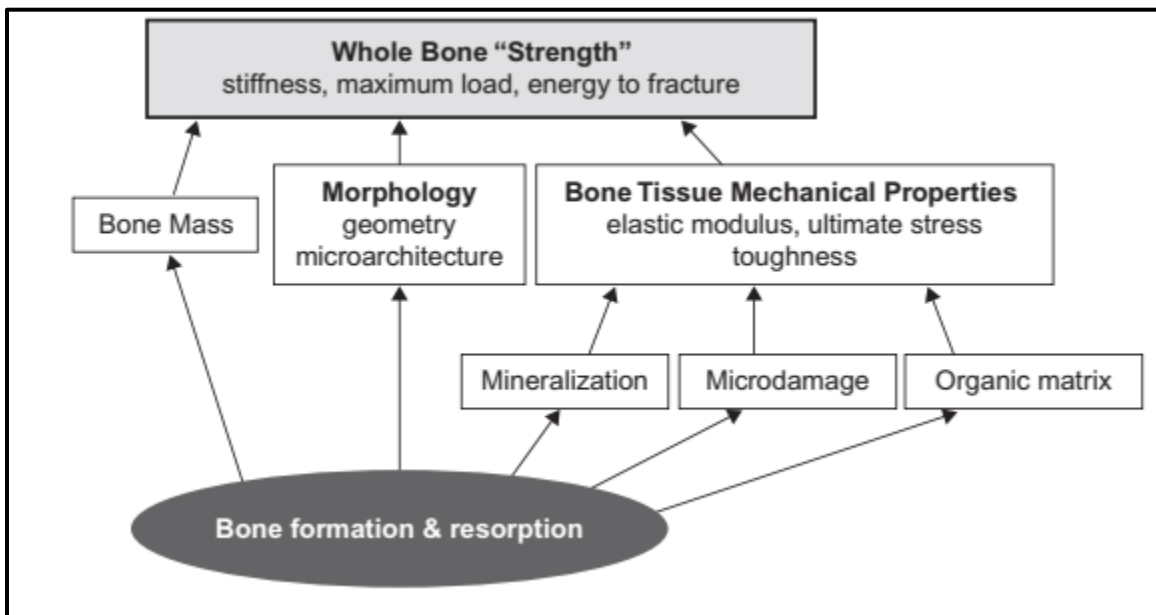


Figure 1 : Déterminants de la résistance mécanique de l'os (Bouxsein, 2013).

Pour Banu (2013), l'ostéoporose est la maladie osseuse la plus courante ; c'est un trouble squelettique caractérisé par une faible résistance osseuse prédisposant à un risque accru de fracture. Les modifications de la structure fine de l'os trabéculaire présentées dans la figure 1 sous le terme de morphologie sont particulièrement importantes car les fractures les plus courantes de l'ostéoporose surviennent au niveau de la colonne vertébrale, du poignet et de la hanche, sites où prédomine l'os trabéculaire (Khosla et coll. 2008).

La structure de l'os trabéculaire normal se compose de plaques bien connectées qui offrent une

grande résistance (Campion & Maricic, 2003). Selon Ebeling (2008), chez les personnes atteintes d'ostéoporose, les bandes sont interrompues et deviennent souvent des bâtonnets minces et affaiblis. Il n'est pas possible de mesurer directement la résistance osseuse chez les patients vivants. Cependant, la masse osseuse, sa densité et sa forme générale peuvent être déterminées par absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA), tomographie/tomographie périphérique et imagerie à résonance magnétique (IRM). Ces mesures sont utilisées comme indicateurs de la solidité osseuse dans l'évaluation du risque d'ostéoporose (Gennari & Bilezikian, 2007).

L'ostéoporose peut se développer de différentes manières. Dans ces cas, le squelette devient plus fragile et le risque de fracture augmente. D'après Nishizawa et coll. (2019), de nombreuses personnes même jeunes ont des os relativement faibles en raison de leurs gènes ou en raison d'une nutrition et ou d'un mode de vie sous-optimaux. Un déséquilibre entre la résorption osseuse et la formation osseuse entraîne une perte de masse osseuse conduisant au développement d'anomalies structurelles qui fragilisent le squelette (Nishizawa et coll. 2019).

La mesure de la DMO surfacique par DXA reste l'approche diagnostique la plus utilisée de l'ostéoporose. Il est reconnu que le risque de fracture est inversement proportionnel à la DMO. Ce constat est à la base de la classification élaborée par l'OMS en 1994 et reste valide de nos jours.

Les scores obtenus par DXA sont indiqués sous forme de « T-scores » et de « Z-scores » (Guzman et coll. 2016). Le T-score est une comparaison de la DMO d'une personne avec celle d'une femme en bonne santé de 25 ans. Le Z-score est une comparaison de la DMO d'une personne avec celle d'une personne moyenne du même âge et du même sexe (Guzman et coll. 2016).

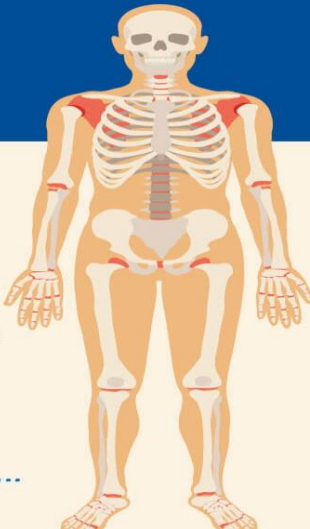
Un T-score de -1.0 ou plus reflète une DMO normale.

Un T-score compris entre -1.0 et -2.5 signifie que vous avez une faible DMO ou une ostéopénie.

Un T-score de -2.5 ou moins est un diagnostic d'ostéoporose.

Un T-score inférieur à -2,5 associé à la présence de fractures reflète la présence d'une ostéoporose sévère.




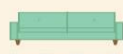








UNDERSTANDING OSTEOPOROSIS



What is Osteoporosis?

Osteoporosis is a progressive bone disease that weakens the bones and increases the risk of fractures. It is a "silent disease," because bone loss occurs without symptoms.

Risk Factors

 Women and post-menopausal women	 Men with significant smoking history
 Family history	 Inactive lifestyle
 Getting older	 Low testosterone levels (men)
 Alcohol	 Smoking
 Thin and/or small frame	 Calcium and vitamin D deficiency
 Corticosteroids and anti-seizure medications	 Medical conditions that weaken calcium absorption




Diagnosis

Bone densitometry (DEXA) X-ray:







- Detects osteoporosis before a fracture occurs
- Predicts chances of fracturing in the future
- Determines rate of bone loss
- Monitors the effects of treatment

Treatment

Follow your doctor's recommendations.

 Take calcium and vitamin D supplements.	 Eat dairy and dark leafy and green vegetables.	 Take prescribed medications.
---	---	--

Prevention

 Walk or jog regularly.	 Walk or jog regularly.	 Walk or jog regularly.
 Limit alcohol intake.	 Stop smoking.	 Take calcium and vitamin D supplements.

njhealth.org
1.877.CALL NJH (877.225.5654)
© 2015 National Jewish Health

National Jewish Health
Science Transforming Life®

Figure 2 : Généralités sur l'ostéoporose (Goldstein, 2015).

L'ostéoporose peut être liée à l'âge (primaire) ou secondaire (induite par certaines pathologies ou induite par certains traitements notamment la corticothérapie prolongée).

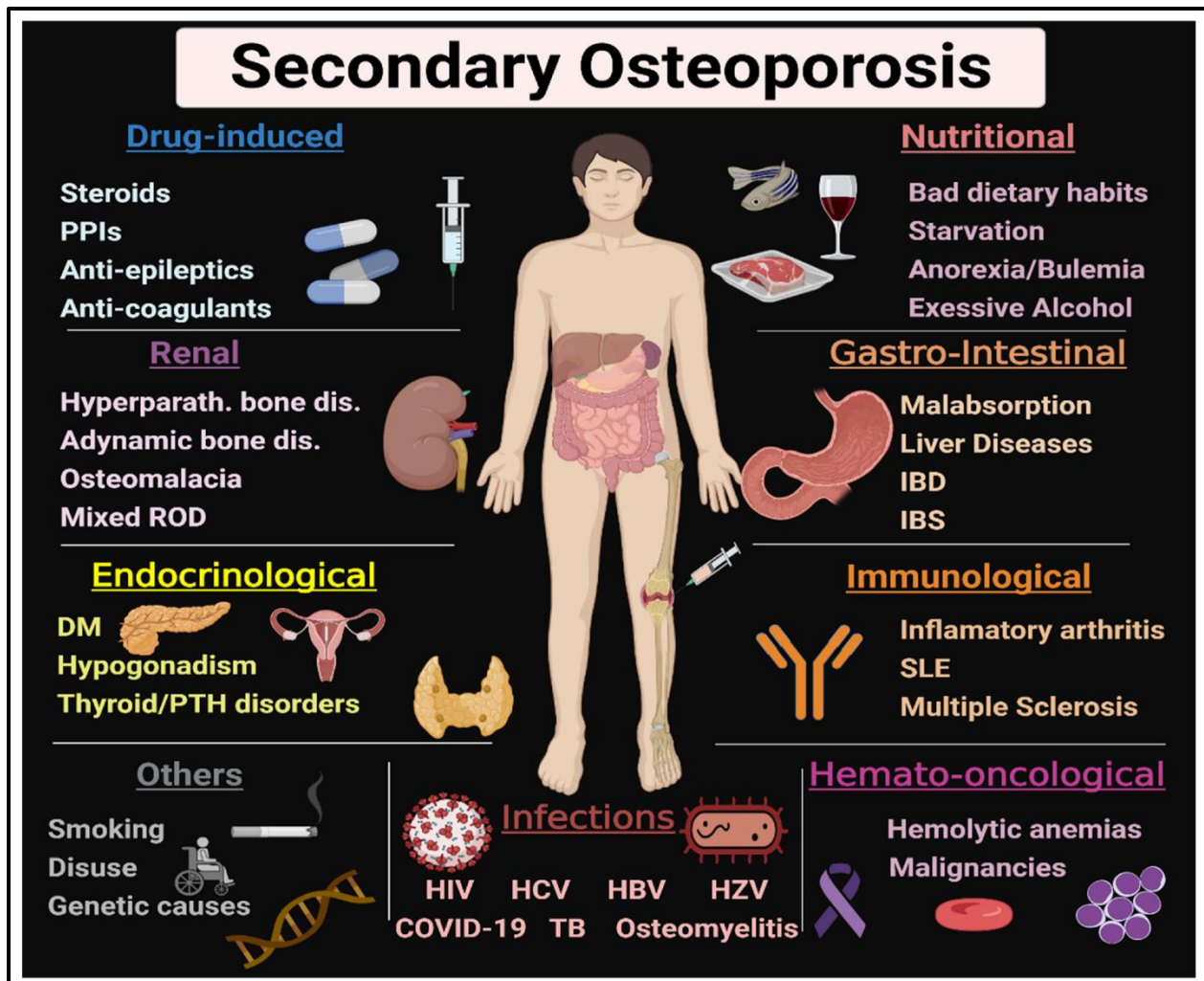


Figure 3 : Principales causes d'ostéoporose secondaire (Sobh et coll. 2022).

1.2 Epidémiologie de l'ostéoporose et des fractures de fragilité

L'ostéoporose cause plus de 8,9 millions de fractures par an ; ceci équivaut à une fracture ostéoporotique toutes les 3 secondes (Johnell & Kanis, 2006). En utilisant la définition de l'OMS pour le diagnostic de l'ostéoporose, cette maladie touche environ 6,3 % des hommes et 21,2 % des femmes dont l'âge est supérieur à 50 ans (Kanis et coll. 2008). En moyenne, 500 millions de personnes sont touchés par cette maladie au niveau mondial (Kanis et coll. 2008). En 2019, 32 millions de personnes âgées de plus de 50 ans avaient une ostéoporose en Europe (Kanis et coll. 2021). En 2050, les projections statistiques montrent une augmentation de 310 % et de 240 % des incidences de fracture de la hanche chez les hommes et les femmes respectivement par rapport aux valeurs rapportées en 1990 (Gullberg et coll. 1997). En parallèle, les projections

statistiques montrent qu'en 2040, 316 millions de personnes auront un risque élevé de fracture en comparaison à 158 millions en 2010 (Oden et coll. 2015). 80 % des fractures de l'avant-bras, 75 %, des fractures de l'humérus, 70 % des fractures de la hanche et 58 % des fractures du rachis surviennent chez les femmes (Johnell & Kanis, 2006). De manière générale, 61 % des fractures ostéoporotiques surviennent chez les femmes, avec un ratio femmes/hommes équivalent à 1,6. De plus, 75 % des fractures de la hanche, du rachis, et de l'avant-bras ont lieu chez les patients âgés de plus de 65 ans (Melton et coll. 1999).

Les études ont démontré qu'une perte de 10 pour 100 de la masse osseuse au niveau des vertèbres peut doubler le risque de fractures vertébrales, et de manière similaire, une perte de 10 pour 100 de la masse osseuse au niveau de la hanche multiplie le risque de fracture par 2,5 (Klotzbuecher et coll. 2000)

Les conséquences économiques de l'ostéoporose sont énormes. En effet, l'incapacité induite par l'ostéoporose est supérieure à celle induite par le cancer (à l'exception du cancer du poumon) (Johnell & Kanis, 2006). L'ostéoporose est ainsi une des principales causes de morbidités en Europe. Une DMO faible augmente le risque de fracture ; cependant, beaucoup de fractures surviennent chez des personnes âgées n'ayant pas une ostéoporose densitométrique (Szulc et coll. 2005)

Plusieurs personnes ayant subi des fractures ne sont pas correctement diagnostiquées et prises en charge. Les fractures de la hanche sont les plus dangereuses car elles nécessitent une longue prise en charge (Autier et coll. 2000 ; Cree et coll. 2000 ; Kiebzak et coll. 2002). Ces fractures sont associées à une perte d'autonomie et des comorbidités élevées dans les 12 mois qui suivent (Keene et coll. 1993). La mortalité suivant une fracture de la hanche est de 20 pour 100 dans les 12 mois qui suivent la fracture (IOF, 2018). La mortalité liée à la fracture de la hanche est supérieure chez les hommes par rapport aux femmes (Center et coll. 1999 ; Seeman, 1995) ; le risque de mortalité est en effet deux fois plus élevé chez les hommes par rapport aux femmes dans les 6 mois qui suivent une fracture de la hanche (Kanis et coll. 2003)

Les fractures de l'avant-bras sont considérées comme des marqueurs de la fragilité osseuse en particulier chez les hommes (Haentjens et coll. 2004). Les fractures vertébrales sont très fréquentes ; une fracture vertébrale survient toutes les 22 secondes chez les sujets âgés de plus de 50 ans (Johnell & Kanis, 2006). Notons enfin qu'une fracture ostéoporotique augmente le risque de fractures suivantes d'où la nécessité d'une prise en charge correcte, d'un diagnostic précoce et

d'un traitement adéquat.

1.3 Régulation au niveau cellulaire

Des facteurs paracrines et endocriniens influencent la différenciation ostéoblastique. L'hormone parathyroïdienne (PTH) est l'un des régulateurs et son effet dépend de sa pulsatilité. Si le niveau de cette hormone est constamment élevé, une résorption osseuse se produit. Si l'élévation est intermittente, la différenciation des ostéoblastes est stimulée.

Il existe un certain nombre de combinaisons différentes d'augmentation de la résorption et de diminution de la formation qui peuvent entraîner un affaiblissement de la structure squelettique (Hagino, 2014). Chacune de ces voies peut être impliquée dans la production de fragilité squelettique à différents moments ou sites chez un patient individuel. Selon Hagino et coll. (2014), la dégradation osseuse étant la première étape de ce processus, le blocage de la résorption osseuse est un moyen de réduire la perte osseuse et de prévenir les fractures. C'est actuellement l'approche thérapeutique la plus utilisée dans l'ostéoporose. La stimulation de la formation osseuse peut également inverser la fragilité du squelette et des nouvelles thérapies basées sur cette approche ont été récemment développées.

Il est recommandé pour les hommes d'évaluer leur état osseux après 50 ans, et les lignes directrices de pratique clinique recommandent le dépistage chez les hommes de plus de 70 ans (Cramer et coll. 2007). Plusieurs facteurs provoquent une perte osseuse liée à l'âge chez les hommes comme une diminution des taux d'hormones sexuelles et de facteur de croissance analogue à l'insuline-1, des effets secondaires des médicaments et une nutrition manquant de minéraux. De plus, l'ostéoporose secondaire peut être due à plusieurs habitudes acquises et maladies héréditaires (Mohd-Tahir & Li, 2017). D'après Alonso-Coello et coll. (2008), les hommes ont l'avantage d'avoir un pic de masse osseuse plus élevé (8 % à 10 %) par rapport aux femmes. L'action des androgènes sur l'os masculin peut s'expliquer par l'activation du récepteur des androgènes et/ou du récepteur des œstrogènes. Malheureusement, les hommes souffrant d'ostéoporose ont des taux de mortalité plus élevés que les femmes. Dans une étude, les hommes ayant subi des fractures subséquentes présentaient un taux de mortalité accru et plus d'hommes étaient immobilisés 120 jours après leur fracture (Hiligsmann et coll. 2015). L'ostéoporose ne présente aucun signe ni symptôme clinique spécifique sauf en cas de fracture (Silva-Fernández et coll. 2013). Certains patients peuvent se plaindre de douleurs osseuses (hanches et pieds). L'outil

d'évaluation du risque de fracture est disponible pour évaluer la probabilité de risque de fracture à 10 ans, en particulier la hanche et d'autres fractures ostéoporotiques majeures (Kulenović et coll. 2006).

1.4 Causes de l'ostéoporose

D'après Reginster et coll. (2019), l'ostéoporose primaire de type 1 est le résultat de changements hormonaux survenant chez les femmes ménopausées, influencés par le changement d'équilibre des taux d'œstrogène et de progestérone, qui sont responsables de la symbiose de l'activité ostéoblastique et ostéoclastique. L'œstrogène régule l'activité ostéoclastique et la progestérone régule l'activité ostéoblastique ; ceci est courant après la ménopause, généralement dans la tranche d'âge des 50 à 70 ans (Bianchi, 2005). L'ostéoporose primaire de type 2 est également appelée ostéoporose sénile et est généralement le résultat d'un faible taux de calcium alimentaire chronique ou parfois de facteurs qui influencent le métabolisme du calcium comme l'hyperparathyroïdie (Inderjeeth, 2012). Ceci est également appelé ostéoporose à faible rotation, car le taux de renouvellement osseux est beaucoup plus faible que l'ostéoporose. D'après García-Gómez (2020), certaines conditions médicales augmentent le remodelage osseux entraînant une interférence ou une perturbation de la réforme osseuse. Il en résulte une perte osseuse résultant d'un déséquilibre entre la production et la perte d'os nouveau. Certaines des conditions courantes favorisant l'ostéoporose sont l'hyperparathyroïdie, le diabète, la thalassémie, le myélome multiple, la malabsorption intestinale, la leucémie, les maladies du foie, la maladie métastatique des os, le syndrome de Cushing, l'acromégalie, le scorbut et le syndrome de Marfan (Stamm, 2016).

1.5 Facteurs de risque de l'ostéoporose

Selon Walsh (2012), la plupart des hommes victimes de fractures le sont en raison de plusieurs facteurs, notamment l'âge, le tabagisme, la consommation d'alcool, un faible poids, des limitations physiques- fonctionnelles, une fracture antérieure, une perte de poids, une utilisation prolongée de corticostéroïdes, une thérapie de privation androgénique, un faible apport alimentaire en calcium, une maladie pulmonaire chronique, un cancer de la prostate.

Le principal minéral perdu lors de la perte osseuse est le calcium et l'absorption du calcium est influencée par la vitamine D (An et coll. 2017). Par conséquent, les personnes qui consomment

du calcium en faible quantité et qui reçoivent un diagnostic de carence en vitamine D présentent également un risque accru de fracture (Walsh, 2012).

L'ostéoporose est fréquemment rencontrée chez les femmes âgées (Adler, 2012). Cependant, cela ne signifie pas nécessairement qu'il est attribué uniquement à la vieillesse. De nombreuses maladies ont des arguments solides pour être considérées comme des facteurs de risque attribuables au développement de l'ostéoporose, même dans la population féminine jeune (Adler, 2012). Ceux-ci incluent des conditions telles que l'hyperthyroïdie, l'hyperparathyroïdie, la maladie cœliaque, la maladie rénale chronique (González-Macías et coll. 2015). Le tabagisme est un facteur de risque modifiable important en plus de la consommation élevée d'alcool. La vitamine D est essentielle pour gérer la solidité osseuse et l'absorption du calcium. C'est un facteur important considéré comme un risque supplémentaire d'ostéoporose dans les pays dépourvus de climat tropical, ce qui est vital pour la synthèse de la vitamine D (Wang et coll., 2020). Selon Schmitt et coll. (2009), il est bien connu que l'ostéoporose est une maladie de fragilité des os, notamment des os trabéculaires. De plus, presque tous les différents types d'activités physiques ont un impact positif sur les os, notamment les activités de mise en charge et les activités à impacts élevés. Il est recommandé de pratiquer ce type d'exercices à un jeune âge pour maintenir la santé des os, augmenter la DMO et prévenir l'ostéoporose (Schmitt et coll. 2009).

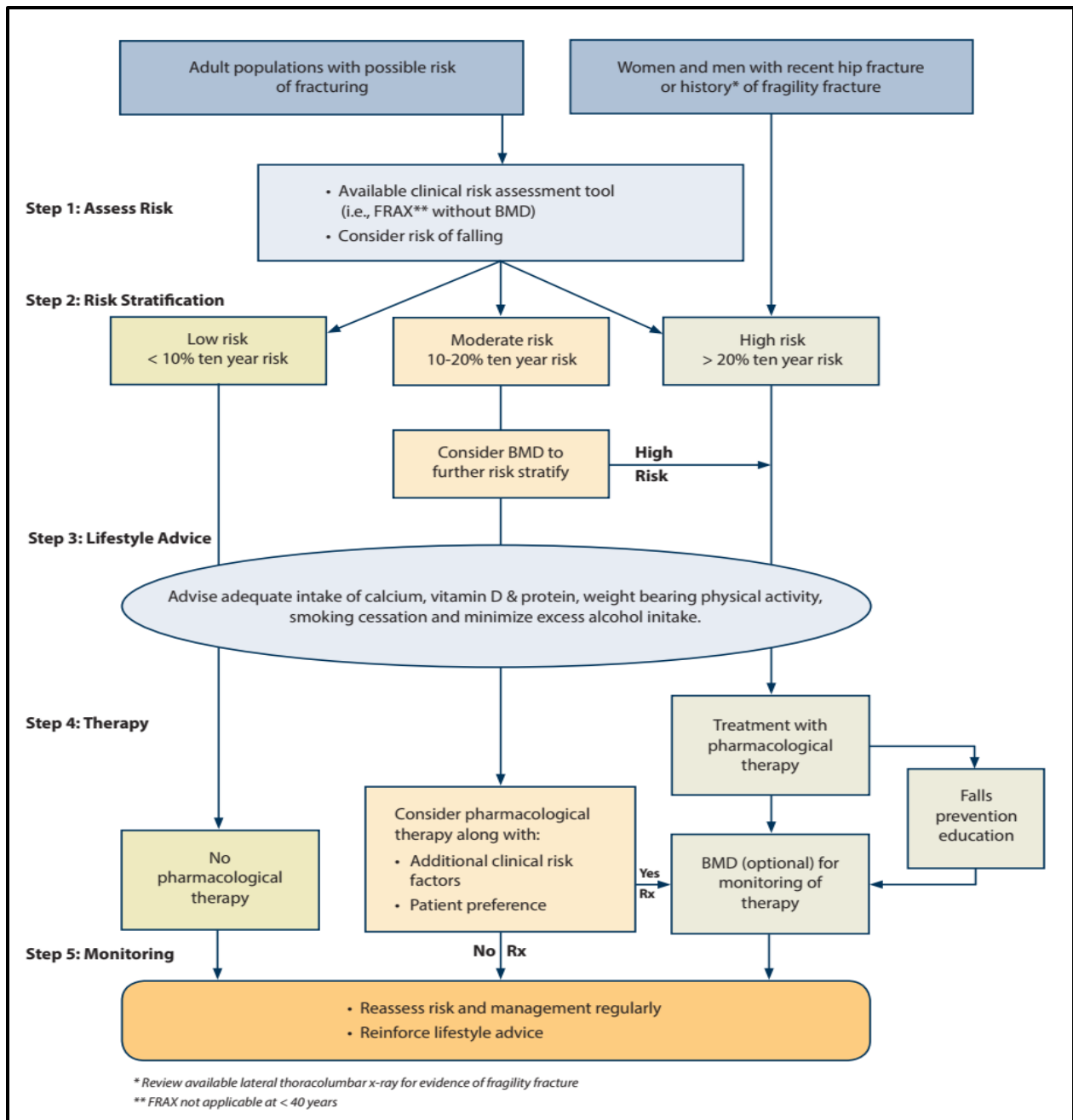


Figure 4 : Les principales recommandations canadiennes pour l'évaluation de l'ostéoporose et la prise en charge des fractures ostéoporotiques.

2. Le pic de masse osseuse

2.1 Définition et importance du pic de masse osseuse

Le pic de masse osseuse, qui peut être défini comme la quantité de tissu osseux présente à la fin de la maturation squelettique, est un déterminant important du risque de fracture ostéoporotique (Boreham & McKay, 2011). La masse osseuse d'une partie donnée du squelette dépend directement de son volume et de la densité du tissu minéralisé contenu dans l'enveloppe périostée (Boreham & McKay, 2011). Les techniques d'absorptiomètres à photons mono-énergie et biénergie ou à rayons-x mesurent la densité minérale osseuse (DMO) dite surfacique, une variable dont il a été démontré qu'elle est directement liée à la résistance osseuse (Bonjour et coll. 1994). D'après Weaver (2008), la différence entre les sexes au niveau de la masse osseuse s'exprime au cours de la puberté. Cette différence semble être essentiellement due à une période de maturation osseuse plus longue chez les hommes comparés aux femmes, avec une augmentation plus importante de la taille de l'os et de l'épaisseur corticale (Weaver, 2008).

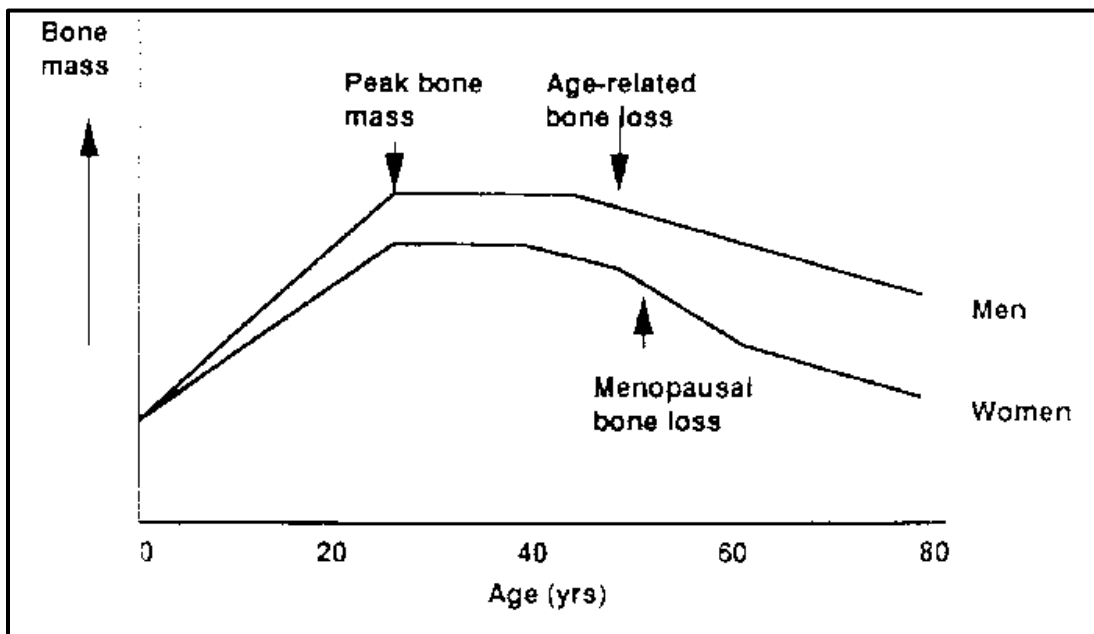


Figure 5 : Evolution de la masse osseuse en fonction de l'âge dans les deux sexes (McDonnell et coll. 2007).

2.2 Puberté et pic de masse osseuse

Parce que la puberté affecte beaucoup plus la taille des os que la densité minérale volumétrique, il n'y a pas de différence significative entre les sexes au niveau de la densité trabéculaire volumétrique à la fin de la maturation pubertaire. Pendant la puberté, le taux d'accumulation de la DMO surfacique au niveau de la colonne lombaire et du col du fémur augmente de quatre à six fois sur une période de 3 et 4 ans chez les femmes et les hommes (Weaver, 2008).

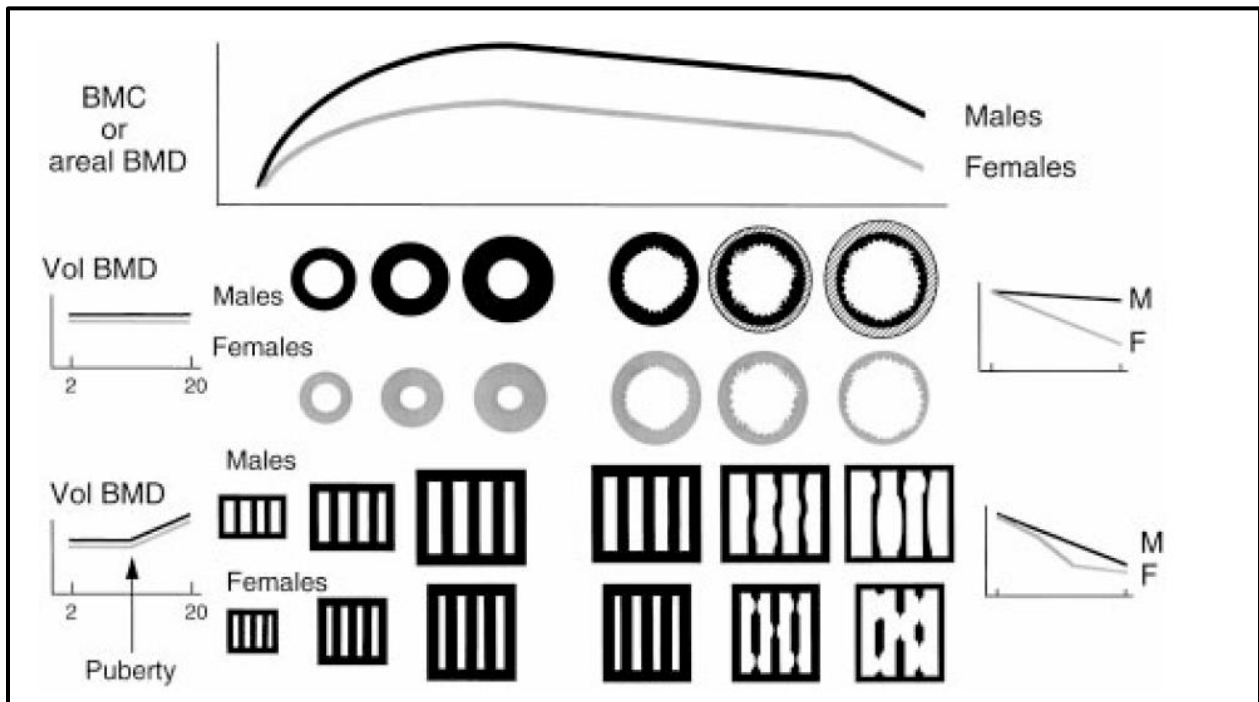


Figure 6 : Evolutions du CMO, de la DMO surfacique et de la DMO volumétrique en fonction de l'âge dans les deux sexes (Seeman et coll. 2001).

Selon Bonjour et coll. (2009), la modification du taux d'accumulation de la masse osseuse est moins marquée dans les diaphyses des os longs. Ce phénomène peut être responsable de l'apparition d'une période transitoire d'augmentation relative de la fragilité osseuse qui pourrait expliquer le schéma d'incidence des fractures à l'adolescence (Bonjour et coll. 2009).

Au début de la troisième décennie, il existe une grande variabilité dans les valeurs normales de la DMO surfacique dans le squelette axial et appendiculaire. Cette grande variance, qui est observée sur des sites particulièrement sensibles aux fractures ostéoporotiques comme le rachis lombaire et le col fémoral, est à peine réduite après correction pour la hauteur staturale, et ne

semble pas augmenter substantiellement au cours de la vie adulte (Bonjour et coll. 2009). La variance de la masse osseuse se développe pendant la puberté sur des différents sites tels que la colonne lombaire et le col fémoral, où le taux d'accrétion est nettement augmenté (Gordon et coll. 2017). Même si une majorité d'études n'a pas observé une accumulation continue et significative de la masse osseuse au cours de la troisième et de la quatrième décennie, il est généralement admis que le pic de masse osseuse à n'importe quel site squelettique est atteint dans les deux sexes au milieu de la troisième décennie (Gordon et coll. 2017). Habituellement, le pic de masse osseuse chez les hommes se situe entre 25 et 30 ans, et il commence à diminuer à partir de 40 ans. Le pic de masse osseuse pour les femmes se situe entre 18 et 20 ans, et il commence à diminuer à partir de 30 (Karlsson & Rosengren, 2020).

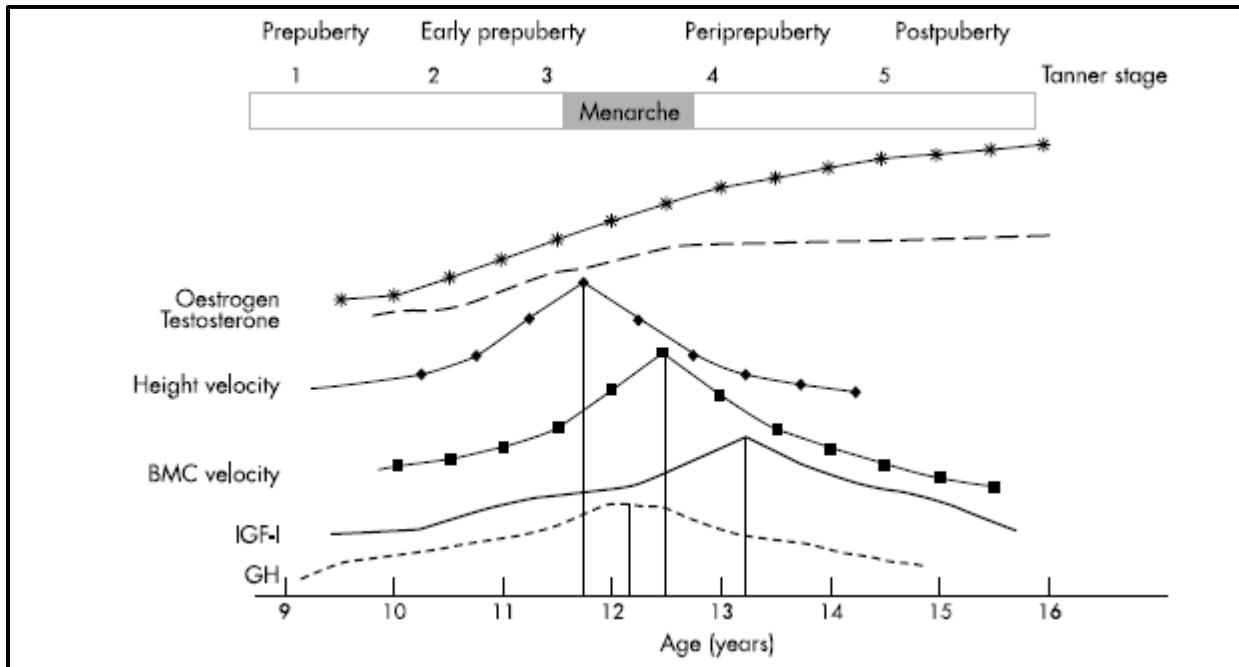


Figure 7 : Evolutions des paramètres hormonaux et osseux pendant l'adolescence (Mackelvie et coll. 2002)

2.3 Facteurs influençant le pic de masse osseuse

Il est bien admis que des facteurs génétiques et environnementaux influencent le pic de masse osseuse (Stagi et coll. 2013). Les déterminants du pic de masse osseuse sont l'hérédité, le sexe, les facteurs nutritionnels, les facteurs endocriniens, les forces mécaniques et l'exposition aux facteurs de risque (Stagi et coll. 2013).

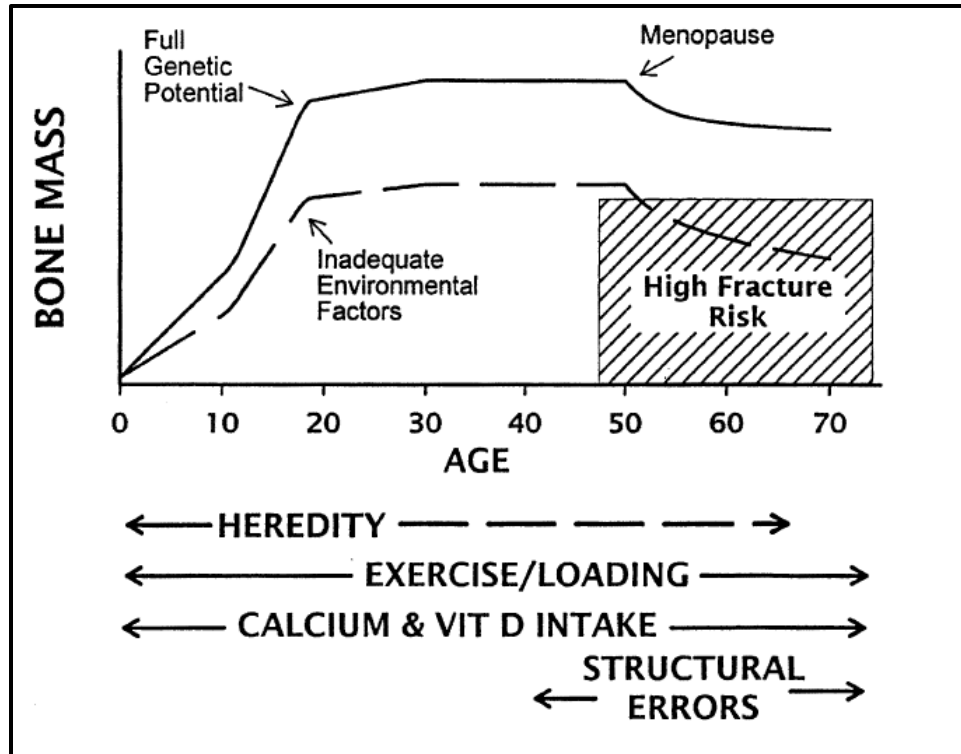


Figure 8 : Importance relative des facteurs influençant le pic de masse osseuse en fonction de l'âge (Heaney, 1999).

Selon Gafni & Baron (2007), l'hérédité n'est pas le seul déterminant du pic de masse osseuse. En ce qui concerne la nutrition, il y a une importance majeure du calcium, de l'apport en vitamine D et des protéines en particulier durant la croissance (Gafni & Baron, 2007). L'apport calorique affecte également les taux de formation et de résorption osseuse. D'après Karlsson & Rosengren (2020), l'activité physique (caractérisée par des impacts biomécaniques importants) peut être le principal stimulus pour augmenter la masse osseuse maximale chez les adolescents et les jeunes adultes. La capacité à acquérir une masse osseuse maximale à un âge précoce peut être le facteur le plus important pour protéger notre santé osseuse à un âge plus avancé. La figure suivante résume les facteurs influençant le pic de masse osseuse. Notons ici les interactions présentes entre ces facteurs.

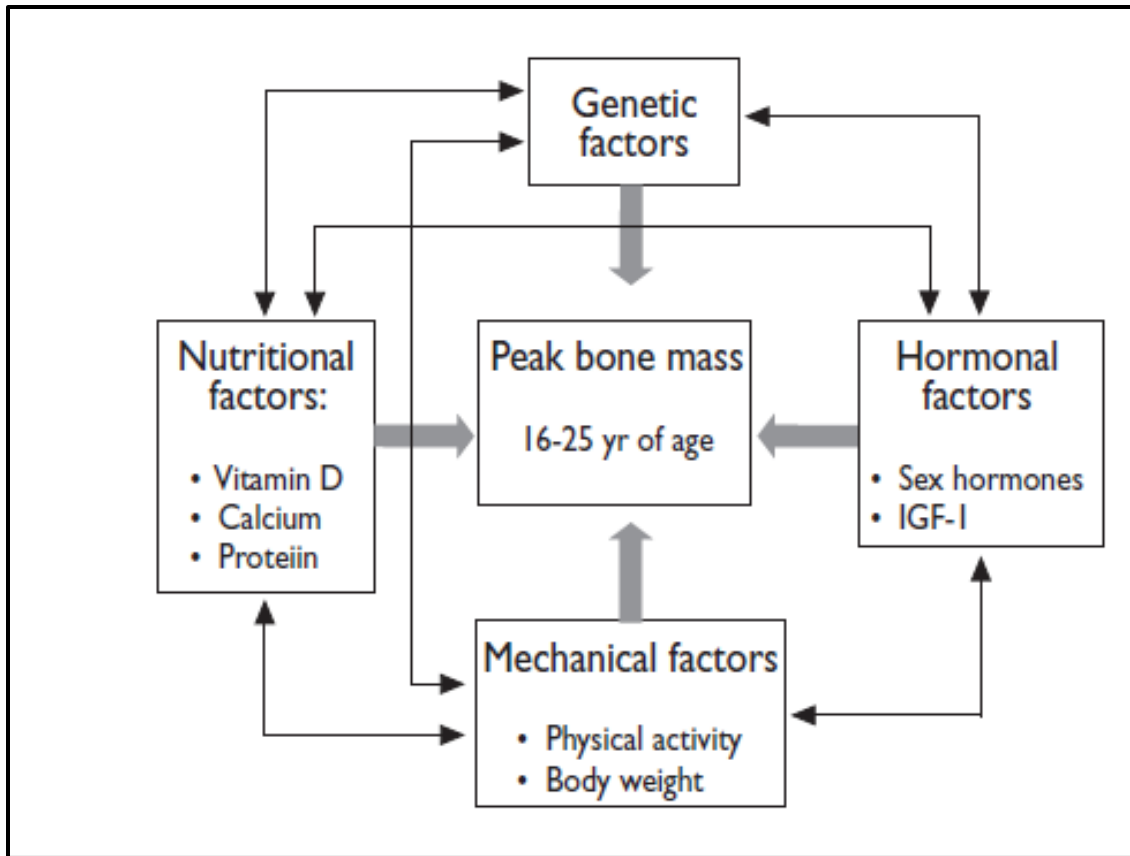


Figure 9 : Facteurs influençant le pic de masse osseuse (Bonjour et coll. 2009).

Le poids corporel et la masse maigre sont des déterminants positifs de la DMO surfacique et du CMO du corps entier dans les deux sexes. Cependant, l'excès de masse grasse ou l'obésité peut avoir des effets néfastes sur la DMO du fait de l'inflammation chronique et d'autres facteurs associés à l'obésité. Signalons dans ce cadre que l'importance relative de la masse maigre et de la masse grasse sur les valeurs de DMO varie en fonction de l'âge et du sexe. En pratique, la stratégie d'augmenter le pic de masse osseuse semble être le choix le plus pertinent et le plus efficace pour la prévention de l'ostéoporose et des fractures ostéoporotiques plus tard dans la vie (Rizzoli et coll. 2010). Ainsi, une augmentation du 10 pour 100 du pic de masse osseuse à l'âge de 25 ans retarde l'apparition de l'ostéoporose de 10 à 13 ans plus tard dans la vie.

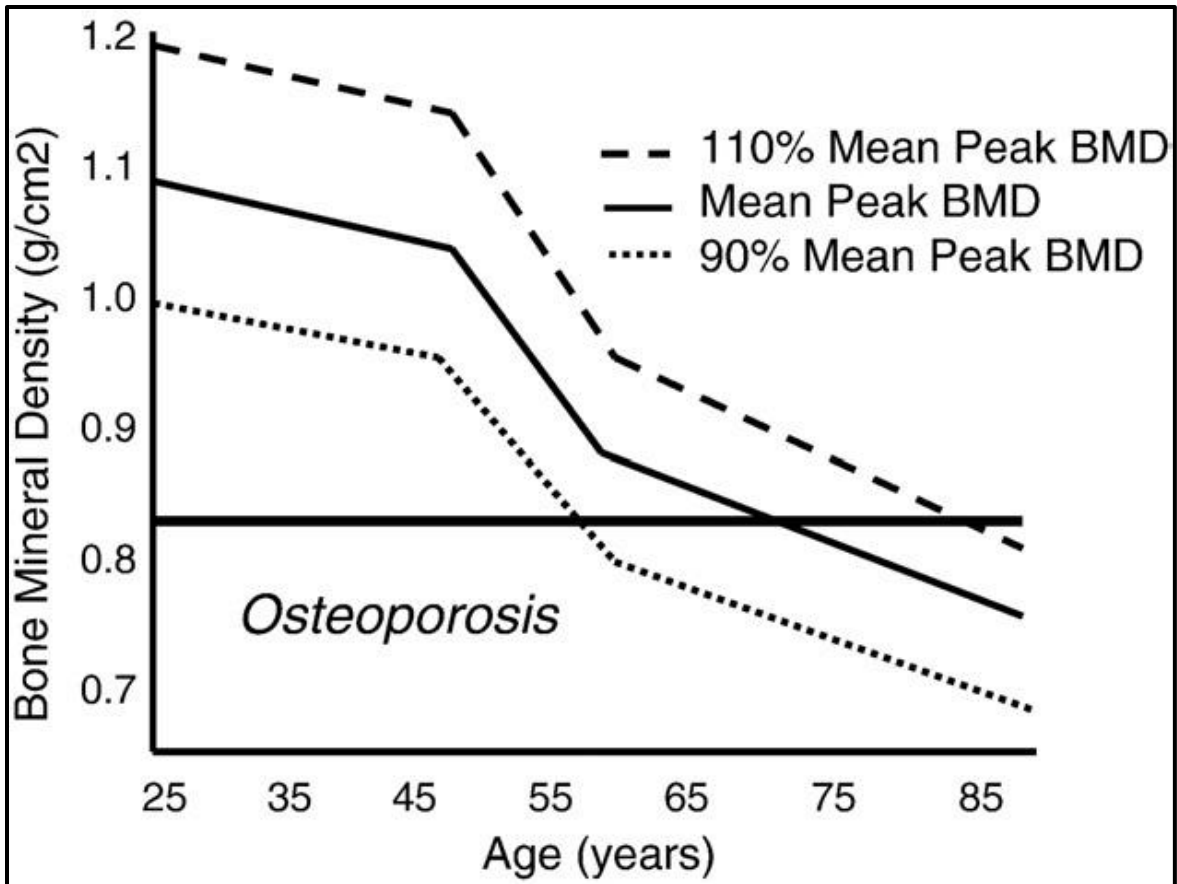


Figure 10 : Simulation de l'influence du pic de masse osseuse sur le risque fracturaire plus tard dans la vie (Rizzoli et coll. 2010).

La pratique de sports à impacts de manière régulière dès l'enfance, l'exposition au soleil et le fait d'avoir une alimentation équilibrée semblent être la pierre triangulaire en matière de construction d'un capital osseux adéquat.

2.4 Paramètres osseux mesurés chez les jeunes adultes par DXA

Bien que la DMO soit le paramètre osseux le plus utilisé au niveau clinique, il existe d'autres paramètres mesurés en pratique clinique ou utilisés dans le domaine de la recherche. Ces paramètres osseux apparaissent dans le tableau récapitulatif ci-dessous.

Tableau 1 : Les principaux paramètres osseux évalués par DXA

Abréviation	Nom complet	Importance clinique
CMO ou BMC	Contenu minéral osseux	Il est corrélé à la résistance mécanique de l'os. Le CMO sous-total est utilisé chez les sujets en cours de croissance pour diagnostiquer les sujets ayant une faible masse osseuse pour leur âge. Les valeurs de CMO sont positivement corrélées au poids et à la masse maigre.
DMO ou BMD	Densité minérale osseuse	La DMO est un déterminant important de la résistance mécanique de l'os et du risque fracturaire. Les valeurs de DMO sont inversement corrélées au risque de fracture et sont intégrés dans l'algorithme FRAX. Les valeurs de DMO sont positivement corrélées au poids et à la masse maigre.
SMO ou BMA	Surface minérale osseuse	Intègre la taille de l'os et son épaisseur. La SMO est utilisée pour le calcul de la DMOA. Les valeurs de SMO sont positivement corrélées au poids et à la masse maigre.
DMOA ou BMAD	Densité minérale osseuse apparente	Utilisé chez les enfants et les adolescents pour évaluer la DMO volumétrique en g/cm^3 .
CMO/taille	Rapport CMO sur taille	Utilisé chez les sujets en cours de croissance pour évaluer le niveau de minéralisation osseuse en g/cm . Les valeurs de CMO/taille sont positivement corrélées à la masse maigre.
DMO/taille	Rapport DMO sur taille	Utilisé pour calculer la DMO volumétrique en g/cm^3 .
CMO/masse maigre	Rapport CMO sur masse maigre	Utilisé pour évaluer le niveau de minéralisation osseuse en g/kg de masse maigre.
CSA	Surface de la section transversale	Il reflète la surface totale d'os dans la section transversale de la région étudiée. C'est un indice de la capacité de l'os à supporter la compression axiale. Les valeurs de CSA sont inversement corrélées au risque de fracture.
CSMI	Moment d'inertie de la surface transversale	Il est un index de rigidité structurale de l'os. Les valeurs de CSMI sont inversement corrélées au risque de fracture.
Z	Module de section	Il reflète la résistance en flexion. Les valeurs de Z sont inversement corrélées au risque de fracture.

SI	Indice de résistance	Indicateur de la résistance du col fémoral à la force générée lors d'une chute sur le grand trochanter. Il reflète la DMO du col fémoral rapportée au poids corporel. Les valeurs de SI sont positivement corrélées au niveau d'activité physique mais négativement corrélées au poids et à l'IMC.
BR	Buckling ratio	Indice de stabilité corticale à la déformation. Les valeurs de BR sont positivement corrélées au risque de fracture.
TBS	Score de l'os trabéculaire	Indice de texture osseuse corrélé à plusieurs indices micro-architecturaux. Les valeurs de TBS sont prédictives de la fracture ostéoporotique chez les personnes âgées. Les valeurs de TBS sont positivement corrélées au niveau d'activité physique mais négativement corrélées au poids et à l'IMC.
CSI	Indice de résistance en compression	Il reflète la capacité du col fémoral à résister à une force de compression axiale. Il reflète la DMO du col fémoral rapportée au poids corporel. Les valeurs de CSI sont inversement corrélées au risque de fracture. Les valeurs de CSI sont positivement corrélées au niveau d'activité physique, à la vitamine D sérique mais négativement corrélées au poids et à l'IMC.
BSI	Indice de résistance en flexion	Il reflète la capacité du col fémoral à résister une force de flexion. Il reflète la DMO du col fémoral rapportée au poids corporel. Les valeurs de BSI sont inversement corrélées au risque de fracture. Les valeurs de BSI sont positivement corrélées au niveau d'activité physique, à la vitamine D sérique mais négativement corrélées au poids et à l'IMC.
ISI	Indice de force aux contraintes	Il reflète la capacité du col fémoral à absorber l'énergie lors d'un impact. Il reflète la DMO du col fémoral rapportée au poids corporel. Les valeurs d'ISI sont inversement corrélées au risque de fracture. Les valeurs d'ISI sont positivement corrélées au niveau d'activité physique, à la vitamine D sérique mais négativement corrélées au poids et à l'IMC.

3. Influence de l'activité physique sur le tissu osseux

3.1 Influence de l'activité physique sur la DMO en fonction du type d'activité physique pratiqué
Les activités physiques caractérisées par des contraintes biomécaniques élevées ont des effets ostéogéniques plus importants que celles caractérisées par le métabolisme énergétique. L'activité physique est plus ostéogénique quand son amplitude dépasse 3 à 4 fois la gravité et quand les contraintes imposées sont différentes de celles observées dans la vie de tous les jours.

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

Figure 11 : Forces de réaction au sol induites par différentes activités physiques (Groothausen et coll. 1997).

D'autre part, la musculation et l'haltérophilie ont des effets positifs sur la masse osseuse du fait de leurs effets positifs sur la masse musculaire. Schoenau (2000) explique en détails le concept d'unité « muscle-os » et son rôle dans le développement de la DMO durant l'adolescence.

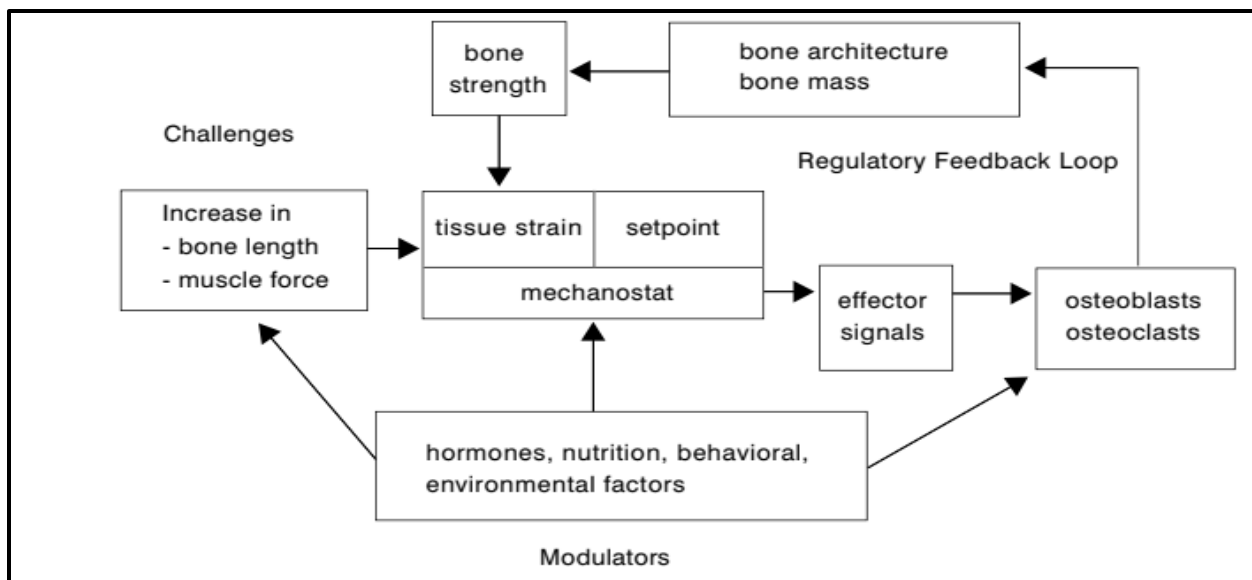


Figure 12 : Un modèle fonctionnel de développement osseux chez les adolescents basé sur la théorie du mécanostat (Schoenau, 2005).

Notons aussi que les sports portés comme la natation ou le cyclisme n’ont pas d’effets positifs sur la masse osseuse même si ils sont caractérisés par des dépenses énergétiques importantes. Enfin, les phénomènes vibratoires à haute fréquence ont des effets positifs sur la masse osseuse.

Physical activities	Metabolic intensity		Mechanic strain	
	(MET)	Score	(GRF)	Score
Yoga	<4	0	0.5-1	0
Volleyball	4-7	1	5-10	3
Bicycling	4-7	1	0.5-1	0
Soccer, field hockey	7-10	2	3-5	2
Skating	7-10	2	1-3	1
Running	>10	3	1-3	1
Swimming	>10	3	0.5-1	0
Basketball	>10	3	5-10	3

Figure 13 : Comparaison des scores métaboliques et scores mécaniques de plusieurs activités sportives (Kemper et coll. 2002).

3.2 Influence de l’activité physique sur la DMO en fonction de l’âge du début de la pratique sportive

La réponse osseuse aux contraintes mécaniques est plus importante durant la croissance par rapport à l’âge adulte. La réponse aux contraintes mécaniques est maximale aux stades 2 et 3 de Tanner ; cette période est associée à une augmentation importante des taux d’hormones sexuelles, de GH et d’IGF-1. Par conséquent, pour une optimisation maximale du pic de masse osseuse, la pratique sportive doit débuter dès l’enfance. D’autre part, la réponse osseuse aux

contraintes mécaniques diminue avec l'âge. Chez le sujet adulte, elle reste cependant significative mais dépend du type d'activité sportive pratiquée.

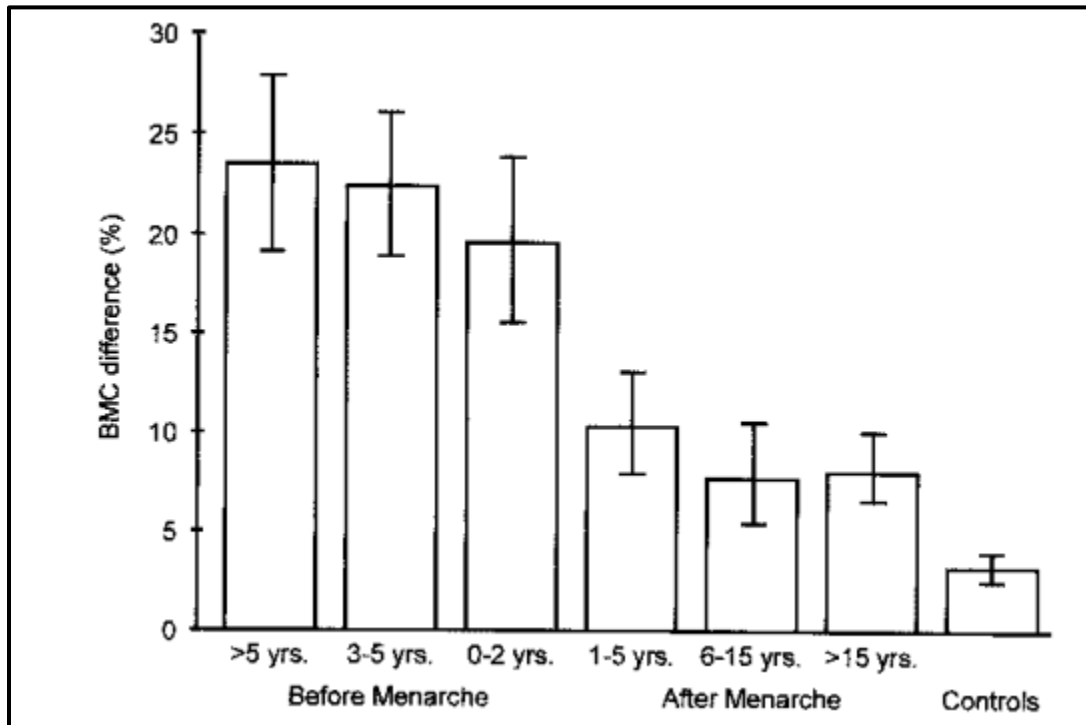


Figure 14 : Différences entre bras dominant et bras non-dominant chez les joueurs de Tennis en fonction de l'âge du début de la pratique (Kannus et coll. 1995).

3.3 Principes et théories qui régissent la réponse ostéogénique à l'exercice physique

3.3.1 Loi de Wolff

« L'os adapte sa forme externe et sa structure trabéculaire en fonction des charges auxquelles il est soumis ». La figure suivante montre la transposition corticale nécessaire au changement de forme.

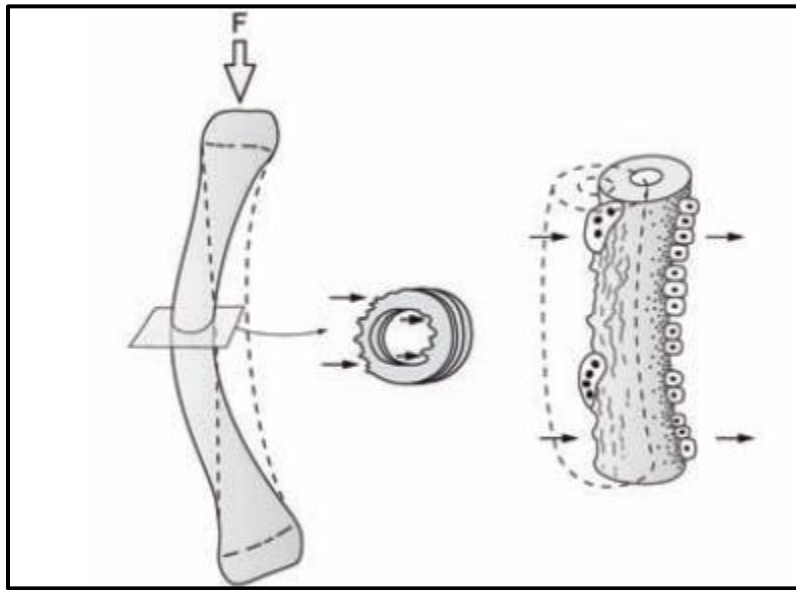


Figure 15 : Transposition corticale nécessaire au changement de forme (Frost, 1994).

3.3.2 Théorie du mécanostat

Elle est basée sur la présence de récepteurs sensibles aux variations de contraintes. Les contraintes mécaniques appliquées sur le tissu osseux produisent des réponses biochimiques site-spécifiques. D'après Frost, « Les modifications du fonctionnement cellulaire ainsi provoquées entraîneraient des adaptations de forme et de structure de l'os ». Frost a distingué différentes « fenêtres » correspondant à différents niveaux de déformation osseuse. La déformation est exprimée en microdéformations (microstrains ou $\mu\epsilon$), 1 000 $\mu\epsilon$ correspondant à une modification de la longueur de l'os de 0,10 %.

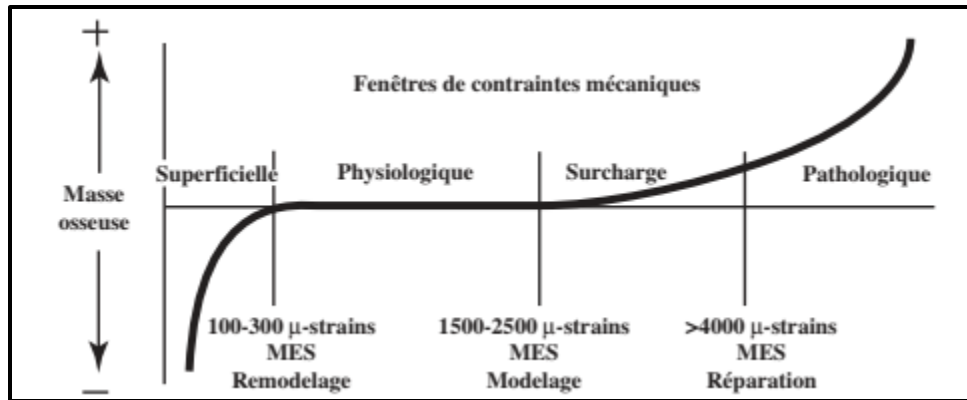


Figure 16 : Fenêtres de contraintes mécaniques définies par la théorie du mécanostat de Frost (Forwood et Turner, 1995).

3.3.3 Principes de l'ACSM qui régissent la réponse ostéogénique à l'exercice physique

Kohrt et coll. (2004) ont émis plusieurs principes qui concernent la réponse ostéogénique aux contraintes mécaniques. Le principe de spécificité stipule que seuls les sites osseux sollicités par les contraintes mécaniques subissent des adaptations osseuses positives. Le principe de surcharge stipule qu'une réponse ostéogénique a lieu seulement si le stimulus de la charge dépasse les niveaux de contraintes habituelles. Par conséquent, l'augmentation de la charge doit être progressive. Le principe de réversibilité explique que 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 qui permettent de maintenir la DMO restent à déterminer et dépendent de plusieurs facteurs. Un autre principe appelé « capital de départ » explique que 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. Enfin, le principe de l'entraînabilité explique que la DMO maximale qui peut être obtenue est influencée par des facteurs génétiques et varie suivant les sujets. Cette valeur maximale détermine les progrès potentiels de chaque être.

3.3.4 Principes de Burr, Robling et Turner

Le tissu osseux est influencé par l'amplitude de la charge, la fréquence d'application, la distribution des déformations au sein de l'os et le nombre de cycles appliqués par jour (Lanyon, 1996). Les contraintes statiques n'ont que très peu d'effets sur l'augmentation de la DMO. En

revanche, les contraintes dynamiques provoquent des adaptations positives sur l'os (Lanyon, 1996). Il est nécessaire à ce cadre de modifier le type des exercices et augmenter l'intensité des exercices afin d'éviter une stagnation de la réponse ostéogénique. D'autre part, il est nécessaire de prendre des récupérations suffisantes entre les séries et entre les séances pour optimiser les gains osseux (Burr et coll. 2002)

3.3.5 Théorie de la mécanotransduction ostéocytaire

Il a été rapporté dans la littérature que la déformation osseuse induite par les contraintes mécaniques crée des mouvements de liquides dans les espaces interstitiels (Forwood et Turner, 1995 ; Burr et coll. 2002). Ces flux liquidiens traversent la membrane des ostéocytes et créent ainsi une contrainte (fluid shear stress) à l'intérieur des cellules. Si cette contrainte est suffisamment forte et rapide, elle déclenche une réponse cellulaire. Les ostéocytes fonctionneraient ainsi comme des jauges de contraintes (Huskes et coll. 2000). En réponse aux gradients de flux liquidiens, les ostéocytes libéreraient des messagers biochimiques tels que les prostaglandines (Ehrlich et Lanyon, 2002). Ces messagers enverraient des signaux qui se dissiperaient jusqu'à la surface osseuse où a lieu le recrutement des ostéoblastes. La nature du signal n'est pas totalement élucidée ; il pourrait s'agir de courants électriques et/ou de transports ioniques provoqués par la vitesse de circulation des courants liquidiens intra-canaliculaires (Mosley et Lanyon, 1998). On parle de *mécanotransduction* car le signal mécanique (qui reflète la déformation de l'os) est transformé en message chimique augmentant ainsi la formation osseuse.

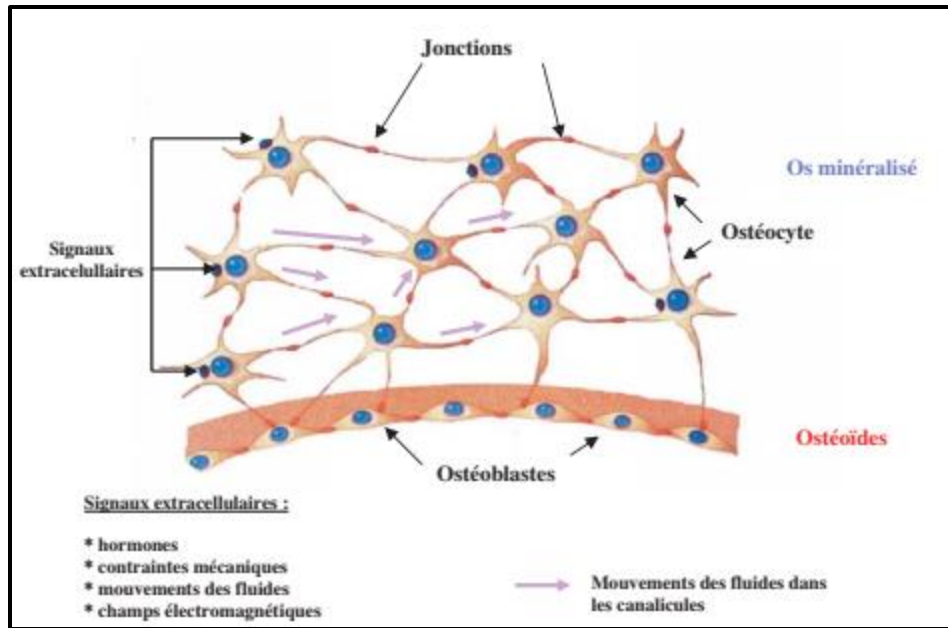


Figure 17 : Théorie de la mécanotransduction ostéocytaire.

3.4 Questionnaires ayant pour objectif de quantifier la réponse ostéogénique aux activités physiques

Il existe plusieurs questionnaires valides et publiés ayant pour objectif de quantifier la réponse ostéogénique aux activités physiques (Ainsworth et coll. 2002 ; Dolan et coll. 2006 ; Groothausen et coll. 1997 ; Kemper et coll. 2002 ; Weeks et Beck, 2008). Le tableau suivant résume les questionnaires ayant pour objectif de quantifier la réponse ostéogénique aux activités physiques

Tableau 2 : Questionnaires ayant pour objectif de quantifier la réponse ostéogénique aux activités physiques

Auteurs	Indices utilisés	Importance clinique
Weeks et Beck (2008)	Total BPAQ Current BPAQ Past BPAQ	Corrélation positive avec la DMO

Dolan et coll. (2006)	Concept de <i>total bone loading exposure</i> basé sur hip bone loading unit (BLU) and spine BLU	Corrélation positive avec la DMO
Ainsworth et coll. (2002)	Concept de <i>total physical activity bone loading score</i> basé sur spine BLU, hip BLU et wrist BLU	Corrélation négative entre le score total et le risque de fracture
Kemper et coll. (2002)	Concepts de <i>mechanical component of physical activity et de bone loading score</i>	Corrélation positive avec la DMO
Groothausen et coll. (1997)	Deux scores basés sur deux méthodes de calcul (A et B) sont utilisés pour estimer le pic de contraintes osseuses	Corrélation positive avec la DMO

BPAQ: Bone physical activity questionnaire; BLU: Bone loading unit; BLS: bone loading score.

4. Influence de la pratique des sports de combats sur les paramètres osseux

Les sports de combats exercent des effets positifs sur la minéralisation osseuse. Ces effets dépendent de plusieurs facteurs : âge du début de la pratique, type de sport pratiqué, fréquence des séances, sexe des sujets etc... Notons également que certains effets peuvent être localisés sur les sites osseux les plus sollicités par la pratique. Le tableau suivant compare les indices d'unités de contraintes mécaniques de plusieurs sports de combats et arts martiaux en comparaison avec d'autres sports ostéogéniques (Dolan et coll. 2006).

Tableau 3 : Indices d'unités de contraintes mécaniques de plusieurs sports de combats et arts martiaux en comparaison avec d'autres sports ostéogéniques

Activité	BLU Hanche	BLU rachis
Karaté/tae bo/taekwondo	8	5
Kickboxing	5	5
Boxe	5	7
Gymnastique	12	12
Basket	11,7	8,4
Volley	11,9	11,3

BLU : Bone Loading Unit (Dolan et coll. 2006).

4.1 Influence de la pratique du Judo sur les paramètres osseux

Les judokas ont des DMO supérieures par rapport aux sujets inactifs et même par rapport à d'autres sportifs pratiquant d'autres types de sport (Agostinete et coll. 2020).

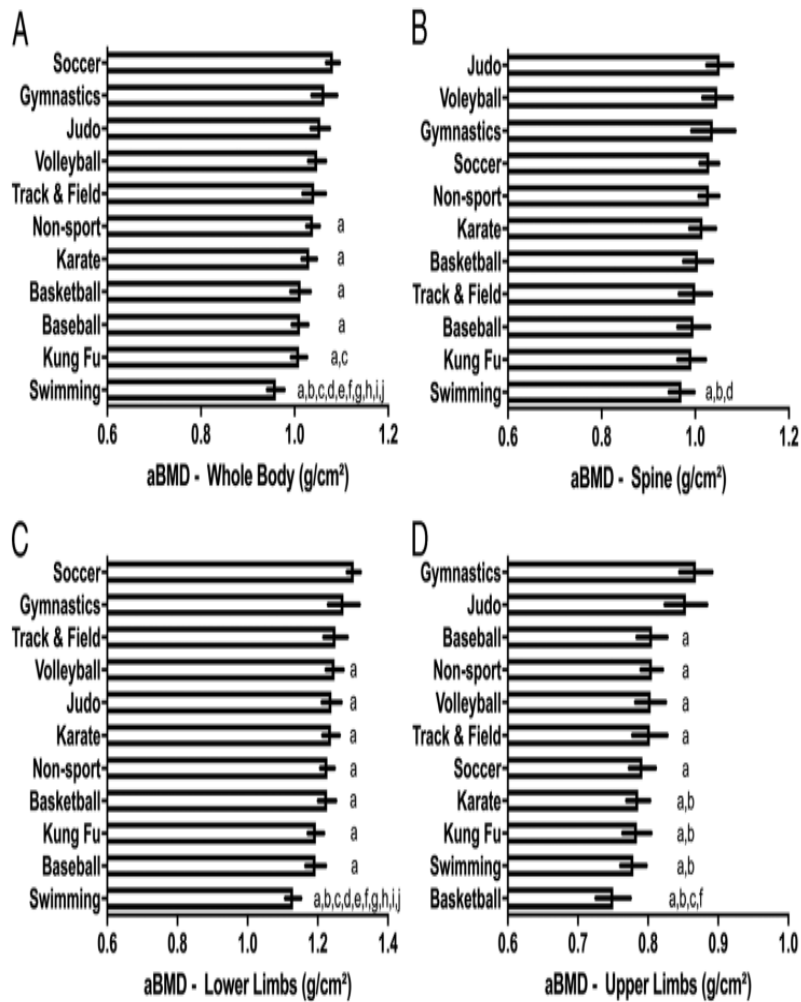


FIGURE 1—Comparisons of BMD ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) among 10 sports and nonsport group categorized hierarchically (from highest to lowest) using the generalized estimating equation (GEE) model adjusted by sex, PHV status, lean soft tissue, fat mass, and weekly training volume. The letters denote significant lower values between groups following hierarchical order (e.g., a = significant lower values compared with the first sport modality, b = difference compared with second sport modality; $P < 0.05$).

Figure 18 : Valeurs de DMO en fonction de la discipline sportive pratiquée (Agostinete et coll. 2020).

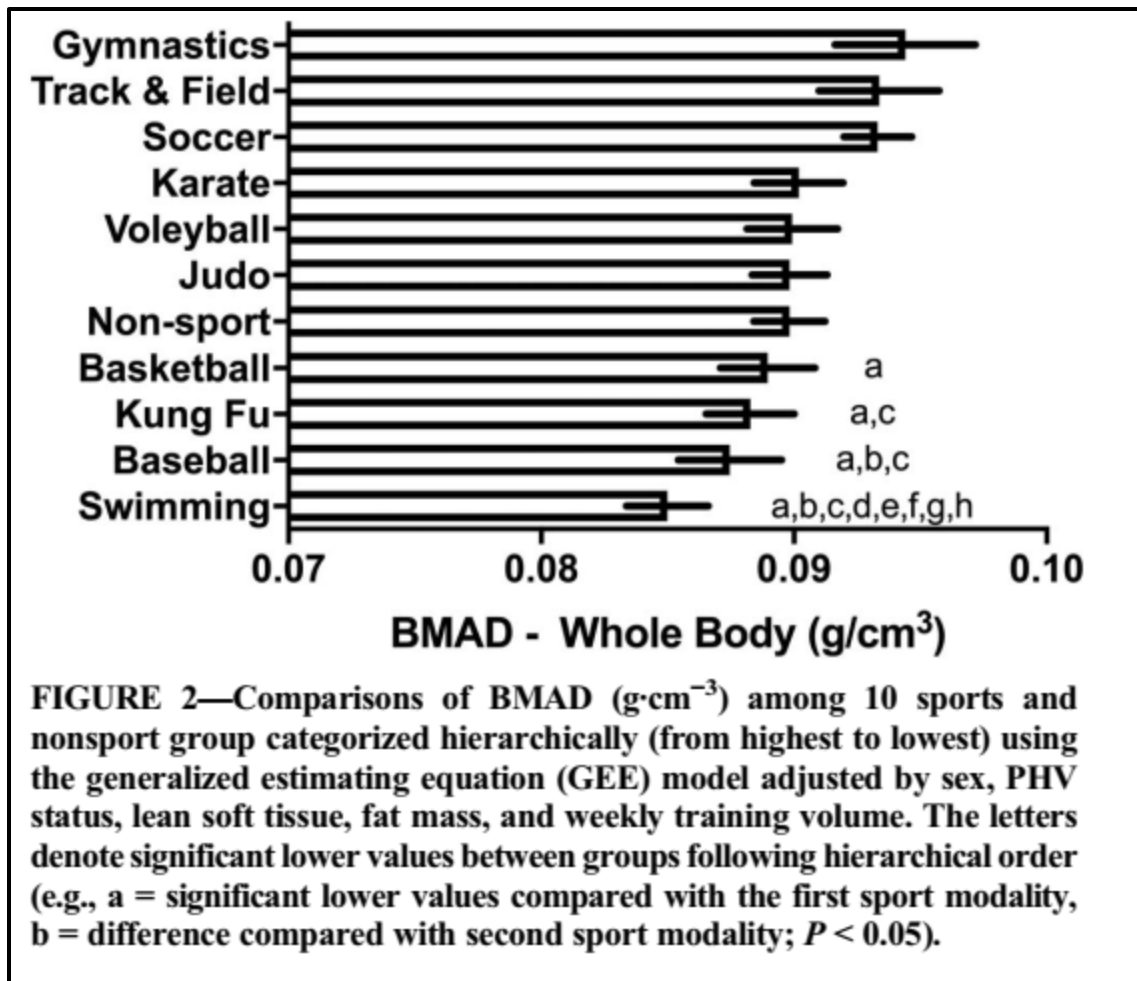


Figure 19 : Comparaison des valeurs de DMOA en fonction de la pratique sportive d'après Agostinete et coll. (2020)

Les tableaux suivants résument les effets de la pratique du Judo sur les paramètres osseux.

Tableau 4 : Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Judo sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Massini et coll. (2023)	104 sujets : 26 nageurs, 26 judokas, 26 non-actifs et 26 sujets âgés. Mesures : DMO + composition corporelle.	Les valeurs de DMO au niveau du corps entier, des membres supérieurs et des membres inférieurs étaient supérieures chez les judokas par rapport à tous les autres groupes.	Les stimuli mécaniques sont supérieurs en Judo par rapport à la natation.
Moraes et coll. (2022)	71 jeunes sportifs (hommes et femmes) : 34 joueurs de Futsal, 14 judokas et 23 joueurs de volleyball. Mesures : CMO + DMO.	Il n'y avait pas de différences significatives au niveau de la DMO chez les hommes entre les groupes. Chez les femmes, la DMO lombaire était supérieure chez les joueuses de volleyball par rapport aux judokas. Le CMO lombaire était supérieure chez les joueuses de Futsal par rapport aux judokas.	La présente étude renforce les connaissances actuelles concernant la réponse ostéogénique à l'exercice physique et a des applications pratiques dans le domaine de la prévention de l'ostéoporose.
Agostinete et coll. (2020)	625 adolescents (10 à 17 ans) pratiquant plusieurs types de sports. Mesures : CMO + composition corporelle + DMO + DMOA.	Parmi tous les groupes, la DMOA du corps entier la plus élevée et la DMO des membres supérieurs la plus élevée étaient enregistrées pour les gymnastes. la DMO du corps entier la plus élevée et la DMO des	La gymnastique et le football sont les sports les plus ostéogéniques au niveau des membres inférieurs. Le Judo est considéré parmi les sports ostéogéniques à cet âge.

		membres inférieurs la plus élevée étaient enregistrées pour les footballeurs.	
Ito et coll. (2016)	138 adolescents (48 pratiquant des arts martiaux et 90 témoins). Mesures : CMO + DMO.	La DMO était supérieure chez les judokas par rapport aux témoins. Il existe une relation entre le volume d'entraînement et la DMO.	La pratique du Judo est associée à une augmentation de la DMO au niveau des membres supérieurs et inférieurs.
Kim et coll. (2013)	30 Judokas et 30 témoins adolescents. Mesures : CMO + DMO.	La DMO était plus élevée chez les judokas par rapport aux témoins au niveau du rachis lombaire, la hanche et l'avant-bras (de 20 %). La pratique du Judo élimine les différences au niveau de la DMO entre bras dominant et bras non dominant.	La pratique du Judo durant l'adolescence optimise les paramètres de santé osseuse.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse ; DMOA : Densité minérale osseuse apparente.

Tableau 5 : Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Judo sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion

Missawi et coll. (2018)	Entraînement de 2 ans de Judo. Population : 119 enfants âgés de 10,5 ans. 50 enfants ayant subi l'intervention et 69 témoins. Mesures : CMO + DMO.	Les valeurs de DMO et de surface minérale osseuse au niveau des sites porteurs étaient supérieures dans le groupe expérimental après la fin de l'intervention.	La pratique du judo durant l'enfance est associée à une augmentation de la DMO à des sites spécifiques.
Ito et coll. (2017)	Entraînement de 9 mois de Judo. Population : 79 adolescents (11 à 17 ans) répartis en 3 groupes : Judo, Kung-Fu et témoin. Mesures : CMO + DMO.	Les gains osseux au niveau du rachis lombaire étaient supérieurs chez le groupe ayant subi l'entraînement de Judo. Ces résultats ont été obtenus chez les garçons mais pas chez les filles.	La pratique du Judo pendant l'adolescence améliore le gain de DMO notamment chez les garçons.
Agostinete et coll. (2016)	82 garçons répartis en plusieurs groupes : Basket, judo, karaté, natation et témoin. Suivi sur 9 mois. Mesures : CMO + DMO.	Les gains osseux les plus importants étaient observés pour le groupe pratiquant le basket.	La pratique des sports d'impacts augmente l'acquisition de la DMO chez les adolescents. La pratique du basket semble être la plus efficace pour l'optimisation de l'acquisition de la DMO.
Agostinete et coll. (2020)	71 adolescents (âgés en moyenne de 12,7 ans) suivis sur 18 mois. Mesures : CMO + DMO + DMOA.	Des interactions groupe * temps significatifs ont été observés pour les valeurs de DMO et de DMOA démontrant que les sports d'impacts avaient des effets significatifs sur les paramètres osseux.	La pratique des sports d'impacts (y compris le judo) augmente l'acquisition de la DMO et de la DMOA chez les adolescents contrairement à la natation.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse ; DMOA : Densité minérale osseuse apparente.

4.2 Influence de la pratique de la boxe sur les paramètres osseux

Le tableau suivant résume les effets de la boxe sur les paramètres osseux.

Tableau 6 : Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence de la boxe sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Bolam et coll. (2016)	Population : 30 adultes pratiquant la boxe et 32 adultes actifs (âgés entre 18 et 44 ans). Mesures : CMO + DMO + composition corporelle + mesures sanguines + force de préhension de la main.	Le CMO et la DMO n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes.	La masse maigre des membres supérieurs était positivement corrélée à la DMO des membres supérieurs. La masse maigre est un déterminant important de la DMO des membres supérieurs.
Dolan et coll. (2012)	30 jockeys, 14 témoins et 14 boxeurs. Mesures : CMO + DMO + composition corporelle.	Les jockeys avaient une DMO inférieure aux témoins et aux boxeurs. La masse maigre et la taille étaient les déterminants les plus importants du CMO CE dans la population entière.	La boxe exerce un effet positif sur la masse osseuse.
Trutschnigg et coll. (2008)	11 femmes pratiquant la boxe et 17 femmes actives (18-38 ans). Mesures : CMO + DMO + composition corporelle + questionnaires.	Les valeurs de DMO au niveau des membres et du rachis étaient supérieures chez les femmes pratiquant la boxe par rapport aux femmes actives.	La boxe exerce un effet positif sur la DMO. Les valeurs de DMO sont supérieures chez les femmes pratiquant la boxe par rapport aux femmes actives et ce malgré une masse maigre plus faible et une incidence plus élevée des aménorrhées.

Sabo et coll. (1996)	Athlètes de haut niveau de plusieurs disciplines : haltérophiles, boxeurs et cyclistes. Présence d'un groupe témoin. Mesures : CMO + DMO + composition corporelle.	La DMO lombaire était supérieure chez les haltérophiles et les boxeurs par rapport aux témoins alors que la DMO des cyclistes était inférieure à celle des sujets témoins.	La boxe exerce un effet positif sur la DMO contrairement aux cyclistes chez qui la DMO est abaissée de 10 pour 100 par rapport aux témoins.
----------------------	---	--	---

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse ; CE : Corps entier.

A notre connaissance, il n'existe pas d'études longitudinales ayant pour objectif d'explorer les effets de la boxe sur les paramètres osseux. Un protocole d'étude publiée en 2017 par Lambert et collaborateurs avait pour objectif de comparer les effets de deux modalités d'entraînement (muscultation vs. Boxe) chez des jeunes femmes ayant un T-score faible. L'entraînement suggéré avait une durée 10 mois à raison de deux entraînements par semaine et le protocole a été approuvé par le comité éthique de l'Université de Griffith. Mais aucun résultat n'a été publié à ce jour.

4.3 Influence de la pratique du Taekwondo sur les paramètres osseux

Les tableaux suivants résument les effets du Taekwondo sur les paramètres osseux.

Tableau 7 : Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Taekwondo sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Ghazzawi et coll. (2023)	Population : 28 adolescents âgés entre 12 et 17 ans (14,4 ans). Mesures : CMO + DMO + composition corporelle + mesures sanguines.	La DMO était positivement corrélée à la pratique du Taekwondo.	La pratique du Taekwondo prévient la perte osseuse en réponse à un régime induisant une perte de poids.

Jung et Song (2018)	Population : 20 adolescents obèses âgés entre 12 et 15 ans répartis en deux groupes (Taekwondo et témoin). Entraînement de 3 séances (de 60 minutes) par semaine sur 16 semaines. Mesures : Tomographie et mesures des marqueurs de remodelage osseux.	En réponse à l'entraînement, les marqueurs de formation et de résorption osseuse ont augmenté chez le groupe Taekwondo.	La pratique du Taekwondo diminue la masse grasse abdominale et augmente les marqueurs du remodelage osseux chez les adolescents obèses.
Eui-Sik et Ju-Sik (2018)	Population : 20 femmes âgées de plus de 60 ans. Mesures : CMO + DMO + performances physiques. Entraînement de 3 mois à raison de 3 entraînements par semaine.	Amélioration des performances physiques ; Diminution de la masse grasse ; Augmentation de la DMO.	L'entraînement était associé à une augmentation de la DMO, à une diminution de la masse grasse et des améliorations au niveau des paramètres de performance physique.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse.

Tableau 8 : Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Taekwondo sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Xu et coll. (2022)	Population : 10 sujets pratiquant le Taekwondo et 10 sujets témoins.	Des adaptations biomécaniques favorables ont été notées dans le groupe pratiquant le taekwondo.	La pratique du taekwondo induit des changements au niveau du remodelage osseux de la cheville.

	Mesures : CT scan.		
Xu et coll. (2021)	Population : 10 sujets pratiquant le Taekwondo et 9 sujets actifs servant comme un groupe témoin. Mesures : <i>computed tomography</i> (CT) scan.	L'épaisseur corticale et la DMO au niveau du calcanéum était supérieure chez les joueurs de taekwondo par rapport aux témoins.	La pratique du taekwondo induit une augmentation de la DMO et des adaptations architecturales au niveau de calcanéum.
Jeon et coll. (2020)	Population : 42 jeunes sujets pratiquant le taekwondo et 10 sujets actifs âgés en moyenne de 18,2 ans. Mesures : CMO + DMO + Biodex.	La relation entre la composition corporelle et la DMO était différente entre les athlètes hommes et femmes.	La DMO des membres inférieurs et supérieurs était supérieure chez les universitaires comparés aux étudiants de l'école secondaire.
Clarke et coll. (2016)	Population : 30 hommes âgés en moyenne de 43 ans répartis en trois groupe (joueurs de taekwondo, anciens joueurs de taekwondo et sujets témoins) Mesures : CMO + DMO + performances physiques.	Les performances physiques, la DMO lombaire et la DMO fémorale étaient supérieures chez les joueurs de taekwondo et les anciens joueurs de taekwondo par rapport aux sujets témoins.	La pratique du taekwondo est associée à une augmentation de la DMO au niveau du rachis lombaire et de la hanche.
Shin et coll. (2011)	Population : 30 adolescentes pratiquant le Taekwondo et 30 témoins. Mesures : CMO + DMO.	La DMO lombaire était supérieure chez le groupe pratiquant le taekwondo par rapport au groupe témoin.	La pratique du Taekwondo durant l'adolescence améliore l'acquisition de la masse osseuse quel que soit le statut pondéral.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse.

4.4 Influence de la pratique du Kick-Boxing sur les paramètres osseux

Il existe à notre connaissance deux études ayant évalué les effets de la pratique du Kick-Boxing sur les paramètres osseux comme démontré par le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du kick-Boxing sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Lin et coll. (2022)	100 personnes âgés de 50 à 85 ans répartis en deux groupes : groupe kickboxing et groupe témoin. La durée de l'entraînement est de 12 semaines.	Les pourcentages de variations de DMO, de force et de force fonctionnelle étaient significativement différents entre les deux groupes.	L'entraînement de kickboxing améliore les paramètres de performance physique et réduit la perte osseuse sans affecter la masse musculaire.
Stone et coll. (2018)	28 femmes pré-ménopausées âgées entre 18 et 35 ans. 14 femmes ont suivi un entraînement de yoga et 14 femmes ont suivi un entraînement de kickboxing (2 séances de 50 minutes par semaine sur 12 semaines). Mesures : DMO + composition corporelle + marqueurs de formation	La DMO n'as pas significativement augmenté dans le groupe kickboxing contrairement à l'ostéocalcine qui a augmenté de 67 %.	Les marqueurs de formation ont augmenté en réponse à l'entraînement de kickboxing. Cette adaptation peut précéder l'augmentation de la DMO.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse.

4.5 Influence de la pratique du Muay Thai sur les paramètres osseux

Il existe à notre connaissance deux études ayant évalué les effets de la pratique du Muay Thai sur les paramètres osseux comme démontré par le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Résumé de deux études menées sur l'influence du Muay Thai sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Abidin et coll. (2018)	40 adolescents : 10 sédentaires, 10 boxeurs, 10 pratiquant le Muay Thai et pratiquant le Silat. Mesures : Ultrasons + mesures de forces.	Les mesures de force et de SOS étaient supérieures chez le groupe pratiquant le Muay Thai par rapport aux sujets témoins.	Les valeurs ultrasoniques au niveau radial étaient supérieures chez les garçons pratiquant le Muay Thai par rapport aux sujets sédentaires. La pratique du Muay Thai a un effet positif sur les paramètres de santé osseuse.
Costa Junior et coll. (2018)	32 enfants pré-pubères : 6 témoins, 17 judokas et 9 pratiquant le Muay Thai. 9 mois d'entraînement à raison de deux séances (de 90 minutes) par semaine.	Le CMO et la DMO des différentes régions ont augmenté chez le groupe pratiquant le Muay Thai.	La pratique du Muay Thai favorise l'acquisition de la masse osseuse chez les garçons pré-pubères.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse ; DMOA : Densité minérale osseuse apparente ; SOS : Vitesse de l'onde ultrasonore ou *speed of sound*.

4.6 Influence de la pratique du Karaté sur les paramètres osseux

Barbeta et coll. (2017) ont démontré que les adolescents pratiquant le karaté ont des valeurs d'AD-SOS et de BTT supérieures à ceux inactifs mettant en évidence une influence positive de la pratique du karaté sur les paramètres osseux dans les deux sexes durant l'adolescence. Chez les joueurs de karaté, il apparaît que la DMO du bras dominant est supérieure à celle du bras non dominant (Afzalpour et coll. 2013). Cette différence semble être liée à la pratique du karaté.

5. Influence de la pratique du Tai Chi Chuan sur les paramètres osseux

5.1 Tai Chi Chuan et prévention de l'ostéoporose

Plusieurs revues systématiques ont été menées afin d'évaluer l'influence du Tai-Chi Chuan (TCC) sur les paramètres osseux chez les personnes âgées. Cependant, ces études ont parfois des résultats contradictoires. Ceci peut en partie être expliqué par les différentes populations incluses, le sexe des populations étudiées, l'ancienneté de la pratique du TCC et d'autres facteurs confondants. Wayne et coll. (2007) ont conclu que les sujets qui pratiquent régulièrement le TCC ont une DMO supérieure à celle des sujets inactifs et que cette pratique peut avoir un rôle protecteur contre l'ostéoporose étant donné ses effets bénéfiques sur le maintien de la DMO et l'amélioration de l'équilibre et de la force musculaire chez les personnes âgées. Lee et coll. (2008) ont conclu que la pratique du TCC ne prévient pas l'ostéoporose. Sun et coll. (2016) ont suggéré que la pratique du TCC peut avoir un effet bénéfique sur la DMO mais le nombre d'études et le niveau de preuve scientifique ne permettent pas d'avoir des conclusions fermes sur ce sujet. Liu et Wang (2017) ont conclu que la pratique du Tai Chi Chuan ne réduit pas la perte osseuse au niveau lombaire et fémorale associée à l'âge chez les femmes post-ménopausées. En revanche, Zou et coll. (2017) ont démontré que la pratique du TCC permet d'atténuer la perte osseuse dans des populations spécifiques (personnes âgées, femmes post-ménopausées, etc...) et a donc un rôle protecteur contre l'ostéoporose. Chow et coll. (2018) ont conclu que la pratique du Tai Chi Chuan a un effet préventif contre l'ostéoporose ; cet effet est plus marqué chez les sujets ayant une longue pratique du TCC. Zhang et coll. (2019) ont conclu qu'en raison de la faible qualité méthodologique, les preuves actuelles pour le traitement de l'ostéopénie et de l'ostéoporose primaire par la pratique du TCC sont insuffisantes. Plus récemment, une étude publiée en 2023 a démontré que la pratique de la musculation a un effet plus important que celle du TCC pour le maintien de la DMO chez les personnes âgées (Cui et coll. 2023). Notons dans ce cadre que la réponse ostéogénique à l'exercice physique diminue avec l'âge et qu'il est peu probable d'avoir des augmentations de la DMO en réponse à un entraînement du TCC chez des personnes âgées d'autant plus que le TCC est considéré comme moins ostéogénique que d'autres activités comme les sports collectifs ou la gymnastique. En conclusion, la pratique du TCC améliore l'équilibre et la force musculaire, diminue le risque de chute et réduit la perte osseuse associée à l'âge. En pratique, pour prévenir l'ostéoporose chez les personnes âgées, il est donc conseillé d'associer cette pratique à d'autres sports plus ostéogéniques.

5.2 Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux

Le tableau suivant montre les principales études longitudinales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux.

Tableau 11 : Résumé de plusieurs études longitudinales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Cheng et Ba (2020)	52 femmes âgées de 55 à 70 ans réparties en trois groupes : groupe témoin, groupe Kung Fu qui fait des entraînements courts (5 * 30 minutes par semaine), groupe Kung Fu qui fait des entraînements longs (5 * 60 minutes par semaine). La durée de l'entraînement était de 48 semaines.	Augmentations significatives de la DMO lombaire et de la DMO du col fémoral dans les deux groupes entraînés.	Les deux groupes entraînés augmentent de manière similaire la DMO lombaire et la DMO du col fémoral.
Hui et coll. (2015)	374 femmes âgées en moyenne de 45,8 ans réparties en trois groupes : groupe marche (5 * 45 minutes par semaine), groupe TCC, groupe marche lente et groupe témoin. La durée de l'entraînement était de 12 semaines.	L'entraînement du TCC a induit une perte de masse grasse et des améliorations significatives au niveau des paramètres métaboliques.	Dans la population entière, les variations au niveau de la masse maigre étaient corrélées aux variations de la DMO. L'intervention n'a pas induit des changements significatifs de la DMO dans le groupe TCC.

Song et coll. (2014)	105 femmes âgées inactives réparties en trois groupes : groupe TCC, groupe dance et groupe marche. L'entraînement a duré un an.	A 12 mois, la réponse à l'entraînement était plus importante dans le groupe TCC comparé aux deux autres groupes.	La pratique du TCC pour 8 à 12 mois semble avoir un effet significatif sur la DMO. Ces effets sont supérieurs aux effets de la marche et de la dance.
Wayne et coll. (2012)	86 femmes post-ménopausées réparties en deux groupes : soins habituels + TCC vs soins habituels. L'intervention était de 9 mois.	Il n'y avait pas de différences significatives entre les deux groupes en réponse à l'entraînement.	L'étude actuelle ne démontre pas d'effets positifs du TCC sur la DMO.
Shen et coll. (2007)	28 femmes âgées sédentaires réparties en deux groupes : groupe réalisant de la musculation et groupe réalisant du Tai Chi Chuan (TCC). L'entraînement était de 3 séances hebdomadaires sur 24 semaines (40 minutes par séance)	Améliorations significatives des paramètres sanguins dans le groupe TCC.	La pratique du TCC augmente la formation osseuse chez les personnes âgées. La durée de l'entraînement doit être suffisamment longue pour avoir des effets positifs.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse.

5.3 Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux

Le tableau suivant montre les principales études transversales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux.

Tableau 12 : Résumé de plusieurs études transversales menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux

Auteurs	Méthodes	Résultats	Conclusion
Deng et Xia (2018)	Etude rétrospective sur 27 pratiquants du TCC et 24 témoins appariés pour l'âge et le sexe.	La dégénération des vertèbres lombaires était supérieure dans le groupe témoin par rapport au groupe pratiquant le TCC.	La pratique du TCC retarde la dégénération du rachis lombaire
Fong et coll. (2014)	35 pratiquants du TCC et 49 non pratiquants appariés pour l'âge et le sexe.	Il y avait des différences significatives entre les deux groupes au niveau des paramètres de performance physique et de la santé musculo-squelettique.	La pratique du TCC est associée à une meilleure santé musculo-squelettique chez les personnes âgées.
Qin et coll. (2002)	Etude de cas témoins sur 17 femmes pratiquant le TCC et 17 femmes témoins	La DMO était supérieure dans le groupe pratiquant le TCC par rapport au groupe témoin.	La pratique du TCC peut retarder la perte osseuse associée à l'avance en âge chez les femmes post-ménopausées.

CMO : Contenu minéral osseux ; DMO : Densité minérale osseuse.

5.4 Résumé de plusieurs méta-analyses menées sur l'influence du Kung Fu sur les paramètres osseux

Une méta-analyse menée par Zhang et coll. (2019) suggère que l'entraînement du TCC puisse être efficace pour augmenter la DMO chez les sujets ayant une ostéopénie ou une ostéoporose. Zhou et coll. (2021) ont démontré que la pratique du TCC peut atténuer la perte osseuse. Cependant, une pratique continue et de haute intensité paraît nécessaire pour observer ce type de résultats.

Deuxième partie : Contribution personnelle Méthodologie générale

1. Conception des études

Le tableau suivant résume les études menées dans le cadre de cette thèse.

Tableau 13 : Conception des études

Titre de l'étude	Conclusions
Etude principale 1 : Force relative des membres inférieurs et indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes adultes	Cette étude suggère que la force relative des membres inférieurs est positivement corrélée aux indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes.
Etude principale 2 : Effets d'un entraînement de Kung Fu récréatif d'un an sur les paramètres osseux (CMO, DMO, indices géométriques de la hanche, indices de résistance osseuse du col fémoral et score de l'os trabéculaire) chez un groupe de jeunes hommes inactifs	Cette étude démontre que l'entraînement au Kung Fu améliore le CMO du corps entier, la DMO de l'avant-bras, les paramètres de performance physique et la qualité de vie chez des jeunes hommes inactifs.

2. Sujets

54 jeunes hommes inactifs ont volontairement participé à cette étude. Leur âge moyen était de $24,5 \pm 3,2$ ans (20-30 ans). Ils étaient en bonne santé et n'avaient pas d'antécédents de problèmes orthopédiques majeurs ou d'autres troubles affectant le métabolisme osseux. Les hommes inactifs ont été répartis au hasard en 2 groupes : groupe Kung Fu ($n = 20$) et groupe témoin ($n = 31$). La randomisation stratifiée a été utilisée dans cette étude. Être inactif a été défini comme « effectuer moins de 150 minutes d'activité physique d'intensité modérée ou 75 minutes d'activité physique d'intensité vigoureuse ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et vigoureuse par semaine cumulée au travail, à la maison, dans les transports ou dans des domaines discrétionnaires ». De plus, ces participants n'avaient jamais pratiqué régulièrement de sport d'impact à l'adolescence ni au début de l'âge adulte. Un test de puissance a été effectué à l'aide de G*Power 3.1.9.7 (Franz Faul, Université de Kiel, Kiel, Allemagne) à la taille d'effet de 0,60, au niveau significatif de 0,05 ($\alpha = 0,05$) et à la puissance de 0,8. G*Power a montré que 20 sujets dans le groupe Kung Fu étaient nécessaires pour garantir une puissance suffisante sur la base de l'hypothèse précédente. 54 jeunes hommes inactifs ont volontairement participé à cette étude, mais seulement 51 d'entre eux l'ont complétée. 3 sujets ont abandonné et ont été exclus de toutes les analyses car ils étaient obligés de se déplacer pour des raisons professionnelles (2 sujets du groupe Kung Fu et un sujet du groupe contrôle). Ainsi, 20 sujets du groupe Kung Fu et 31 sujets du groupe témoin ont terminé l'étude. Tous les sujets ont été contrôlés par un médecin spécialisé qui leur a donné l'autorisation de participer à l'intervention récréative de Kung Fu.

3. Les mesures réalisées

Toutes les mesures (anthropométrie, composition corporelle, os, paramètres de performance physique, tests sanguins et tension artérielle) ont été réalisées dans les deux groupes avant et après la période d'entraînement d'un an.

3.1 Mesures anthropométriques

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

3.2 Mesures osseuses

Le contenu minéral osseux, la densité minérale osseuse, les indices de géométrie osseuse du col fémoral (CSA, CSMI, Z, SI et BR) ainsi que les indices de résistance osseuse du col

fémoral (CSI, BSI et ISI) ont été évaluées par DXA (DXA ; GE-Lunar iDXA, Madison, WI).

3.3 Procédures des tests de performance physique

Tous les sujets ont été familiarisés avec les procédures et l'équipement nécessaire pour effectuer les tests physiques en participant à une séance explicative avant les procédures d'évaluation. Les tests ont été effectués sur trois jours non consécutifs. Le premier jour, les performances en sprint de 20 mètres, en saut vertical et en saut horizontal ont été déterminés (Finianos et coll. 2021 ; Harman et coll. 1991). Le deuxième jour, la consommation maximale d'oxygène a été déterminée (Léger et Lambert, 1982). Le troisième jour, une répétition maximale (1-RM) en demi-squat, 1-RM en soulevé de terre et 1-RM en développé-couché ont été évalués (Baechle et Earle, 2008).

3.4 Questionnaires

L'apport quotidien en calcium (DCI), l'apport quotidien en protéines (DPI), l'indice de qualité du sommeil de Pittsburgh (PSQI), le niveau d'activité physique (minutes/semaine), le score de charge osseuse (scores BPAQ) et les scores de qualité de vie SF-12 (score de la composante mentale (MCS) et le score de la composante physique (PCS) ont été évalués par des questionnaires validés (Fardellone et coll. 1991 ; Gandek et coll. 1998). Ces questionnaires ont été précédemment décrits en détail (Fardellone et coll. 1991 ; Gandek et coll. 1998)

3.5 Tests sanguins

Des échantillons de sang ont été prélevés après 8 heures de jeûne pour évaluer les niveaux de glucose, des triglycérides, du cholestérol total, du cholestérol des lipoprotéines de faible densité (LDL-C) et du cholestérol des lipoprotéines de haute densité (HDL-C) (mg/dl). Toutes les valeurs ont été mesurées sur la base de méthodes enzymatiques et colorimétriques à l'aide d'un auto-analyseur Cobas® 702 (Roche, Bâle, Suisse).

3.6 Pression artérielle

La pression artérielle systolique (PAS) et la pression artérielle diastolique (PAD) ont été mesurées en position assise avec le bras droit soutenu au niveau du cœur à l'aide d'un sphygmomanomètre électronique (HEM-7120, Omron, Kyoto, Japon).

4. Protocole de Kung Fu récréatif

L'entraînement a duré 1 an à raison de deux entraînements par semaine. Tous les participants ont pratiqué le Kung Fu dans le même Dojo. Toutes les séances récréatives de Kung Fu ont été supervisées par un entraîneur certifié de Kung Fu. La première séance de la semaine était orientée vers l'endurance musculaire et la deuxième séance était orientée vers la puissance musculaire.

Le groupe de Kung Fu s'entraînait dans un Dojo entièrement équipé pour le combat de Kung Fu (Sanda ; 8x8 m). Le groupe expérimental a été divisé en deux équipes de 11 par session pour permettre aux joueurs de s'intégrer dans la salle d'entraînement. Lors de la séance de puissance, 11 s'entraînaient le matin et 11 s'entraînaient le soir, et la même organisation a été utilisée pour la séance d'endurance.

Lors de la séance de puissance, les sujets frappaient le sac aussi fort qu'ils le pouvaient (ils exécutaient 5 circuits de 5 séries de 10 secondes chacune). De plus, ils prenaient 40 secondes de récupération entre les séries et 4 minutes de récupération entre les circuits. De plus, des positions de Tai chi ont été ajoutées pour obliger les joueurs à utiliser les différentes parties de leur corps ; par exemple, le joueur prend une position semi-accroupie et donne des coups de poing. De plus, des techniques de chute étaient enseignées à la fin de chaque séance de puissance, ce qui pouvait affecter positivement la DMO des sites chargés du corps.

Lors de la séance d'endurance, les sujets effectuaient des exercices à grande vitesse et à haute intensité. Le joueur mélangeait intensément coups de poing et coups de pied dans le sac (il effectuait 5 circuits de 5 séries de 25 secondes chacune). On a demandé au joueur de frapper et de donner des coups de pied aussi vite qu'il le pouvait dans le sac, sans faire de pause pendant 25 secondes non-stop avec 20 secondes de récupération entre les séries et 3 minutes de récupération entre les circuits. En effet, le temps de repos a été minimisé, ce qui permettait de stimuler le système cardiovasculaire et la consommation d'oxygène des joueurs durant toute la séance.

5. Etude statistique

Les valeurs ont été exprimées en moyennes \pm déviations standards/erreurs standards. Les corrélations ont été précisées par le test de Pearson. Une analyse de variance à deux voies mesures répétées (two-way-RM Anova) a été utilisée afin d'explorer les effets de l'intervention de Kung Fu sur les paramètres étudiés ; un test *post-hoc* a été utilisé dans un deuxième temps. Les pourcentages de variations entre les deux groupes (Kung Fu et témoin) ont été comparés en utilisant un test-t de Student. Une valeur de $p < 0,05$ était exigée afin d'affirmer le caractère significatif des résultats. Enfin, les tailles d'effet (valeurs de Cohen) ont été calculées afin d'explorer les effets de cette intervention sur la DMO. Les tests statistiques ont été réalisés par le logiciel Sigma Stat (Jandel Corp., San Rafael, CA, version 3.11, 2004).

Étude principale 1 : Force relative des membres inférieurs et indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes adultes

Résumé : L'objectif de cette étude était d'explorer les relations entre la force relative des membres inférieurs et les indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI) chez des jeunes hommes. Cinquante-quatre jeunes hommes libanais âgés de 20 à 30 ans ont participé à cette étude. La composition corporelle et la densité minérale osseuse ont été mesurées par DXA. Les indices de résistance osseuse du col fémoral (indice de résistance osseuse en compression [CSI], indice de résistance osseuse en flexion [BSI] et indice de résistance osseuse à l'impact [ISI]) ont été calculés. La force maximale (1-RM) en demi-squat, la force maximale en soulevé de terre et la force maximale en développé-couché ont été mesurées. Le rapport force maximale en demi-squat/poids corporel était positivement corrélé au CSI au BSI à l'ISI mais négativement corrélé au pourcentage de masse grasse. Cette étude suggère que la force relative des membres inférieurs est positivement corrélée aux indices de résistance osseuse du col fémoral chez des hommes jeunes.



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



SHORT COMMUNICATION

Lower limbs relative strength and composite indices of femoral neck strength in a group of young adult men



Force relative des membres inférieurs et indices de résistance osseuse du col fémoral chez des jeunes hommes adultes

N. Khalil^{a,b}, A. Pinti^b, G. Khoury^a, A. Khawaja^c, R. El Hage^{a,*}

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

^b Université Polytechnique Hauts-de-France, INSA Hauts-de-France, Laboratoire de Recherche Sociétés & Humanités (LARSH), 59313 Valenciennes, France

^c Faculty of Sport Sciences, Antonine University, Mejdlaya-Zgharta Campus, Zgharta, Lebanon

Received 2 October 2022; accepted 10 April 2023
Available online 15 May 2023

KEYWORDS

Peak bone mass;
Lean mass;
Hip geometry

Summary

Introduction. – The aim of the current study was to investigate the relationships between relative strength of the lower limbs 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 adult men.

Summary of facts and results. – In all, 54 Lebanese young men whose ages range from 20 to 30 years (24.4 ± 3.1 years) participated in our study. Body composition and hip bone mineral density were assessed by DXA. CSI, BSI and ISI were calculated. One-repetition maximum (1-RM) half-squat, 1-RM deadlift and 1-RM bench-press were measured. 1-RM half-squat/body mass was positively correlated to CSI ($r = 0.35$; $P < 0.01$), BSI ($r = 0.33$; $P < 0.05$) and ISI ($r = 0.32$; $P < 0.05$), but negatively correlated to fat mass percentage ($r = -0.37$; $P < 0.01$).

Conclusion. – The current study suggests that relative muscular strength of lower limbs is positively correlated to composite indices of femoral neck strength in young men.

© 2023 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

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

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

<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.04.002>

0765-1597/© 2023 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

MOTS CLÉS

Pic de masse osseuse ;
Masse maigre ;
Géométrie osseuse de la hanche

Résumé

Introduction. – L'objectif de cette étude est d'explorer les relations entre la force relative des membres inférieurs et les indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI) chez des jeunes hommes.

Synthèse des faits et résultats. – Cinquante quatre jeunes hommes libanais âgés de 20 à 30 ans ($24,4 \pm 3,1$ ans) ont participé à cette étude. La composition corporelle et la densité minérale osseuse ont été mesurées par DXA. Les indices de résistance osseuse du col fémoral (indice de résistance osseuse en compression [CSI], indice de résistance osseuse en flexion [BSI] et indice de résistance osseuse à l'impact [ISI]) ont été calculés. La force maximale (1-RM) en demi-squat, la force maximale en soulevé de terre et la force maximale en développé-couché ont été mesurées. Le rapport force maximale en demi-squat/poids corporel était positivement corrélé au CSI ($r=0,35$; $p<0,01$), au BSI ($r=0,33$; $p<0,05$), à l'ISI ($r=0,32$; $p<0,05$) mais négativement corrélé au pourcentage de masse grasse ($r=-0,37$; $p<0,01$).

Conclusion. – Cette étude suggère que la force relative des membres inférieurs est positivement corrélée aux indices de résistance osseuse du col fémoral chez des hommes jeunes.

© 2023 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Introduction

Sarcopenia and osteoporosis are interrelated and generally associated with aging, often leading to a frailty syndrome. Sarcopenia is a "progressive and generalized skeletal muscle disorder that is associated with increased likelihood of adverse outcomes including falls, fractures, physical disability and mortality" as defined by the European Working Group on Sarcopenia in Older People [1–5]. Osteoporosis is a "worldwide disease characterized by reduction of bone mass and alteration of bone architecture resulting in increased bone fragility and increased fracture risk" [1–5]. Frailty is a common "clinical syndrome in older adults that carries an increased risk for poor health outcomes including falls, incident disability, hospitalization, and mortality" [1–5]. Diagnostic criteria for osteoporosis, sarcopenia and frailty have been defined.

Long-term resistance training practice helps to prevent the age-associated loss of bone mineral density (BMD), muscle mass and muscular strength [3]. It has been reported that on average, muscle mass declines between 3% and 8% each decade after the age of 30 [3]. The benefits of resistance training on health have been well-documented [3]. An important meta-analysis conducted on older men has shown that measures of physical performance (grip strength, walking speed and five chair stands) predicted incident fractures independently of FRAX probability which supports the consideration of physical performance in fracture risk assessment [4]. Importantly, a study conducted on elderly frail subjects confirmed the efficacy of resistance training for enhancing movement control, functional abilities, physical performance, and walking speed [3].

Peak BMD attained in the third decade of life is considered the single most important factor for the prevention of osteoporosis later in life [1–5]. Peak BMD is influenced by several factors such as genetics, hormones, nutrition and mechanical factors [1–5]. Herein, we have previously shown that maximal strength, lean mass and muscular power are positively correlated to BMD values in young adults and elderly subjects; these findings highlight the importance of

improving lean mass and muscular strength/power to prevent osteoporosis [1,2].

Osteoporosis increases the risk of fragility fractures which have serious health consequences. Worldwide, osteoporosis causes more than 8.9 million fractures annually, resulting in an osteoporosis fracture every 3 seconds [5]. Using the World Health Organization (WHO) definition of osteoporosis, the disease affects approximately 6.3% of men and 21.2% of women over the age of 50 [5]. By 2050, the worldwide incidence of hip fracture in men is projected to increase by 310% and 240% in women, compared to rates in 1990 [5]. Hip fractures cause the most morbidity with reported mortality rates up to 20–24% in the first year after a hip fracture [5]. Although the overall prevalence of hip fragility fractures is higher in women, men generally have higher rates of fracture related mortality [5]. While low BMD confers increased risk for fracture, most fractures occur in postmenopausal women and elderly men without a densitometric diagnosis of osteoporosis [6]. Accordingly, it appears that BMD measurement alone is not sufficient to adequately predict future fracture risk [6]. Currently, there is significant evidence showing that body size and femoral neck geometry contribute to fracture risk independently of BMD [6]. Consequently, Karlamangla et al. [6] developed the concept of composite indices of femoral neck strength (compression strength index [CSI], bending strength index [BSI] and impact strength index [ISI]) based on theoretical considerations from a biomechanical viewpoint. These indices integrate body size, femoral neck size, and femoral neck BMD to capture the structural contributions to bone strength (resistance to fracture forces) relative to load (forces placed on the hip during a fall) [6]. These indices associate inversely with incident hip fracture risk in elderly women from different countries [6]. A study conducted on Lebanese postmenopausal women has shown that CSI is associated with history of osteoporotic fractures [7]. Consequently, identifying determinants of composite indices of femoral neck strength in young Lebanese adults is clinically relevant. It has been shown that insulin resistance is associated with low composite indices of femoral neck strength while serum vitamin D is positively correlated to these bone

indices [8]. Also, we have previously shown that indices of obesity such as BMI and fat mass percentage are negatively correlated to composite indices of femoral neck strength in young adults [8]. In addition, we have recently demonstrated that vertical jump, physical activity level (h/week), sprinting performance (m/sec) and relative maximal oxygen consumption (mL/mn/kg) are positively correlated to these bone indices in young adults [2,9,10]. Furthermore, handball and soccer practices are associated with greater composite indices of femoral neck strength in young adults [2,9]. Since one repetition-maximum (1-RM) half-squat and femoral neck BMD are strongly related [9], we hypothesized that relative strength of the lower limbs (1-RM half-squat/body mass) and composite indices of femoral neck strength would be positively correlated. The aim of the current study was to investigate the relationships between relative strength of the lower limbs and composite indices of femoral neck strength (CSI, BSI and ISI) in a group of young adult men.

2. Materials and methods

The present study was carried out in accordance with the declaration of Helsinki (regarding human experimentation developed for the medical community by the World Medical Association). Fifty-four Lebanese young men whose ages range from 20 to 30 years (24.4 ± 3.1 years) participated in our study. All participants were Caucasians, non-smokers and had no history of major orthopedic problems or other disorders known to affect bone metabolism. Moreover, all participants were insufficiently active; being insufficiently active was defined as “doing some physical activity but less than 150 minutes of moderate intensity physical activity or less than 60 minutes of vigorous-intensity physical activity a week accumulated across work, home, transport or discretionary domains”. Other inclusion criteria included no diagnosis of comorbidities and history of fracture.

Height (m) and weight (kg) were measured, and body mass index (BMI; kg/m²) was calculated. BMD was assessed by DXA (DXA; GE-Lunar iDXA, Madison, WI). BMD measurements (in g/cm²) were completed for the whole body (WB), the lumbar spine (L1-L4), the total hip (TH) and the FN (FN) using dual-energy X-ray densitometry (DXA; GE-Lunar iDXA, Madison, WI). Body composition was also evaluated by DXA. Composite indices of FN strength were calculated as previously described by Karlamangla et al. [6]. CSI (CSI = [FN BMD – FN width/weight]) and BSI (BSI = [FN BMD – FN width²]/[hip axis length – weight]) express the forces that the FN has to withstand in axial compressive and bending forces, whereas ISI (ISI = [FN BMD – FN width – hip axis length]/[height – weight]) expresses the energy that the FN has to absorb in an impact from standing height [6]. The three indices (CSI, BSI and ISI) are expressed in g/kg-m [6]. 1-RM half-squat, 1-RM deadlift and 1-RM bench-press were measured as previously described [9]. Because maximum strength varies with body mass, half-squat strength, deadlift strength and bench-press strength were normalized to body mass for each subject. Squat relative strength has been suggested as a screening tool for seasonal lower extremity injury risk in college athletes.

Blood samples were collected after 8 hours fasting for glucose, triglycerides, total cholesterol, high-density

Table 1 Clinical characteristics of the study population.

	Mean ± SD
Age (years)	24.4 ± 3.1
Weight (kg)	77.0 ± 13.1
Height (cm)	175.8 ± 6.6
BMI (kg/m ²)	24.8 ± 4.1
Lean mass (kg)	53,988 ± 7640
Fat mass (kg)	19,966 ± 8604
Fat mass (%)	26.4 ± 7.3
TH BMD (g/cm ²)	1.089 ± 0.162
FN BMD (g/cm ²)	1.076 ± 0.150
CSI (g/kg-m)	5.53 ± 0.95
BSI (g/kg-m)	1.66 ± 0.60
ISI (g/kg-m)	0.365 ± 0.080
1-RM half squat/body weight	0.947 ± 0.189
1-RM deadlift/body weight	1.170 ± 0.195
1-RM bench press/body weight	0.913 ± 0.154
Blood glucose (mg/dL)	88.6 ± 7.5
Total cholesterol (mg/dL)	163.3 ± 31.6
LDL-C (mg/dL)	99.7 ± 27.9
HDL-C (mg/dL)	44.7 ± 7.9
Triglycerides (mg/dL)	92.5 ± 44.3

BMI: body mass index; TH BMD: total hip bone mineral density; FN BMD: femoral neck bone mineral density; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; LDL-C: low-density lipoprotein cholesterol; HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol.

lipoprotein cholesterol (LDL-C), and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) levels (mg/dL). Pearson correlation coefficients were calculated in order to explore relationships among the studied variables (Table 1).

3. Results

1-RM half-squat/body mass was positively correlated to CSI (r = 0.35; P < 0.01), BSI (r = 0.33; P < 0.05) and ISI (r = 0.32; P < 0.05), but negatively correlated to fat mass percentage (r = -0.37; P < 0.01), blood glucose (r = -0.37; P < 0.01) and blood triglycerides (r = -0.30; P < 0.05). 1-RM deadlift/body mass was positively correlated to ISI (r = 0.28; P < 0.05). 1-RM bench press/body mass was positively correlated to BSI (r = 0.28; P < 0.05). Fat mass was negatively correlated to CSI (r = -0.39; P < 0.01) and ISI (r = -0.32; P < 0.05). Fat mass percentage was negatively correlated to CSI (r = -0.39; P < 0.01) and ISI (r = -0.33; P < 0.05).

4. Discussion

Our results reinforce those of two previous studies which showed that indices of relative power are positively correlated to composite indices of femoral neck strength in young adults [9,10]. However, the correlations between relative strength of the lower limbs and composite indices of femoral neck strength in our study were relatively weak. Hence, there are several other determining factors of CSI, BSI and ISI that need to be defined in both genders. The current study revealed negative correlations between relative muscular strength of lower limbs and several health

parameters such as fat mass percentage, blood glucose and blood triglycerides. Accordingly, augmenting relative muscular strength of lower limbs may help to prevent the onset of metabolic syndrome. Our results seem logical since regular resistance training practice has been shown to provide protection against cardiovascular diseases [3]. These results are clinically important since the incidence of cardiovascular disease is known to be higher in men than in women. The current study has several limitations including its cross-sectional design, the relatively low number of subjects recruited and the lack of inclusion of a female group. In conclusion, the current study suggests that relative muscular strength of lower limbs is positively correlated to composite indices of femoral neck strength in young men. Up to our knowledge, this is the first study to demonstrate positive correlations between relative strength of the lower limbs and composite indices of femoral neck strength. Implementing strategies to increase 1-RM half-squat/body mass in men is important to prevent osteoporotic fractures later in life. Physical conditioning training programs should be adapted accordingly. Future longitudinal studies seem obligatory to confirm causal relationships between relative strength of the lower limbs and composite indices of femoral neck strength in both genders.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

References

- [1] Saddik H, Pinti A, Antoun A, Al Rassy N, El Hage Z, Berro AJ, et al. Limb muscular strength and bone mineral density in elderly subjects with low skeletal muscle mass index. *J Clin Densitom* 2021;24(4):538–47.
- [2] Finianos B, Zunquin G, El Hage R. Composite indices of femoral neck strength in middle-aged inactive subjects vs. former football players. *J Clin Densitom* 2021;24(2):214–24.
- [3] Westcott WL. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep* 2012;11(4):209–16.
- [4] Harvey NC, OdÅ©n A, Orwoll E, Lapidus J, Kwok T, Karlsson MK, et al. Measures of physical performance and muscle strength as predictors of fracture risk independent of FRAX, Falls, and aBMD: a meta-analysis of the Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) study. *J Bone Miner Res* 2018;33(12):2150–7.
- [5] Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 2006;17(12):1726–33.
- [6] Karlamangla AS, Barrett-Connor E, Young J, Greendale GA. Hip fracture risk assessment using composite indices of femoral neck strength: the Rancho Bernardo study. *Osteoporos Int* 2004;15:62–70.
- [7] Ayoub ML, Maalouf G, Bachour F, Barakat A, Cortet B, Legroux-GÅ©rot I, et al. DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop Traumatol Surg Res* 2014;100:855–8.
- [8] Alwan A, El Khoury C, Zouhal H, Maalouf G, Rizkallah M, El Khoury G, et al., Vitamin D. Level and composite indices of femoral neck strength in a group of young lebanese men. *J Clin Densitom* 2016;19(4):492–3.
- [9] Maliha E, Pinti A, Bassim P, Toumi H, El Hage R. Composite indices of femoral neck strength in young adult male handball players. *J Clin Densitom* 2022;25(4):637–40.
- [10] Finianos B, Sabbagh P, Zunquin G, El Hage R. Relationships between sprinting performance and composite indices of femoral neck strength in a group of young adults. *Sci Sports* 2021;36(4):325–6.

Étude principale 2 : Effets d'un protocole récréatif de Kung Fu d'un an sur les paramètres de santé osseuse dans un groupe de jeunes hommes inactifs en bonne santé

Résumé : L'objectif principal de cette étude était d'explorer les effets d'un an de pratique récréative du Kung Fu sur les paramètres de santé osseuse (contenu minéral osseux, densité minérale osseuse, indices de géométrie osseuse du col fémoral et indices de résistance osseuse du col fémoral) chez un groupe de jeunes hommes inactifs. 54 jeunes hommes inactifs ont volontairement participé à cette étude, 51 l'ont complétée. La population a été divisée en deux groupes : groupe Kung Fu (n = 20) et groupe témoin (n = 31). Le groupe expérimental (Kung Fu) réalisait deux séances hebdomadaires de Kung Fu ; la durée de chaque session était de 45 minutes. La présente étude a démontré que le CMO du corps entier, la DMO du radius ultra-distal, la DMO du 1/3 radial, la DMO du radius total, la DMO de l'avant-bras, la force maximale, la consommation maximale d'oxygène et la performance en détente ont augmenté dans le groupe Kung Fu mais pas dans le groupe témoin. Les pourcentages de variation du CMO CE, de la DMO de l'avant-bras et des performances physiques étaient significativement différents entre les deux groupes. En conclusion, la présente étude suggère que le Kung Fu récréatif est une méthode efficace pour l'augmentation du CMO du corps entier, de la DMO de l'avant-bras et des paramètres de performance physique chez les jeunes hommes inactifs.



The Effects of a 1-Year Recreational Kung Fu Protocol on Bone Health Parameters in a Group of Healthy Inactive Young Men

Nour Khalil,^{1,2} Antonio Pinti,² and Rawad El Hage^{1*}

¹ Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, Kelhat El-Koura, Lebanon and ² Université Polytechnique Hauts-de-France, INSA Hauts-de-France, LARSH - Laboratoire de Recherche Sociétés & Humanités, F-59313 Valenciennes, France

Abstract

The main aim of the current study was to explore the effects of a 1-year recreational Kung Fu protocol on bone health parameters (bone mineral content (BMC), bone mineral density (BMD), femoral neck geometry and composite indices of femoral neck strength) in a group of healthy inactive young men. 54 young inactive men voluntarily participated in this study, but only 51 of them completed it. The participants were assigned to 2 different groups: control group (n=31) and Kung Fu group (n=20). The Kung Fu group performed two sessions of recreational Kung Fu per week; the duration of each session was 45 minutes. The current study has demonstrated that whole body (WB) BMC, ultra-distal (UD) radius BMD, 1/3 radius BMD, total radius BMD, total forearm BMD, maximal strength, maximum oxygen consumption and jumping performance increased in the Kung Fu group but not in the control group. The percentages of variations in WB BMC, forearm BMD and physical performance parameters were significantly different between the two groups. In conclusion, this study suggests that recreational Kung Fu is an effective method to improve WB BMC, forearm BMD and physical performance parameters in young inactive men.

Keywords: Martial art; Prevention of osteoporosis; Muscular power; Men; Forearm; Peak bone mass.

Introduction

Bone mineral density (BMD) measured by Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) remains a strong predictor of bone strength and fracture risk (1-5). However, most fractures occur in postmenopausal women and elderly men without a densitometric diagnosis of osteoporosis (6-8). Bone geometry indices, bone microarchitecture variables and bone texture also predict bone strength and fracture risk (9-12). While the overall prevalence of fragility fractures is higher in women compared to men,

men generally have higher rates of fracture related mortality (13-17). This is accurate for hip fractures, where a decline in life expectancy and excess mortality were observed at a greater level in men compared to women, even after controlling for several covariates (13-17). Peak bone mass (PBM) is a strong predictor of fracture risk later in life (9). For instance, a 10 percent increase in PBM could reduce fracture risk by as much as 50 percent (9). PBM is influenced by several factors such as genetics, ethnicity, origin, gender, nutrition, hormones, mechanical loading and many potential interactions among these factors (9-17). For instance, hip fractures occur at a younger age in Lebanon compared to Western populations, and 60% of patients with hip fractures have osteopenia rather than osteoporosis (18). In addition, peak BMD values are lower than those of western populations (19,20). The lower BMD values may be related to the deficiency in

Received 05/23/23. Accepted 06/05/23.

The authors state that they have no conflicts of interest.

*Corresponding author at: Department of Physical Education, Faculty of Arts and Sciences, University of Balamand, P. O. Box 100 Tripoli, Rawad El Hage, Lebanon. E-mail: rawadelhage21@hotmail.com

vitamin D levels and low calcium consumption that is commonly found in this population (21-26). Moreover, the majority of Lebanese children and youth are inactive and do not follow the physical activity guideline recommendations (25,26).

Physical activity is well-known to optimize bone health as previously described (27). Martial arts and combat sports are gaining popularity in adolescents and adults (28). Judo practice seems to enhance bone mass accrual in adolescents and is associated with higher BMD values in adults (29-34). The effects of Tai Chi Chuan on BMD, balance and fracture risk have been well studied in postmenopausal women (35-44). Nevertheless, studies examining the benefits of Kung Fu on these parameters are limited. This martial art requires strength, power, endurance and balance (45-52). Kung Fu has existed for centuries and is generally accepted as being beneficial for health without much experimental data (45). A longitudinal study demonstrated that Kung Fu practice improves glycemic control, blood pressure control and blood lipid profile, and it decreases body mass index and body fatness in obese subjects (46). However, the influence of Kung Fu practice on bone health parameters in young adults is not completely elucidated. The main aim of the current study was to explore the effects of a 1-year recreational Kung Fu protocol on bone health parameters (bone mineral content (BMC), bone mineral density (BMD), femoral neck geometry and composite indices of femoral neck strength) in a group of healthy inactive young men. We hypothesized that this 1-year training program would improve BMD of the loaded sites and physical performance parameters in the studied population.

Material and methods

Subjects and study design

54 young inactive men voluntarily participated in this study. Their mean age was 24.5 ± 3.2 years (20-30 years). They were healthy and had no history of major orthopedic problems or other disorders that affect bone metabolism. Inactive men were randomly assigned into 2 groups: Kung Fu group ($n = 20$) and control group ($n = 31$). Stratified randomization was used in this study. Being inactive was defined as "performing less than 150 minutes of moderate-intensity physical activity or 75 minutes of vigorous-intensity physical activity or an equivalent combination of moderate and vigorous-intensity activity a week accumulated across work, home, transport or discretionary domains" (53). In addition, these participants did not have a former regular practice of any impact sport in their adolescence and young adulthood ages.

A power test was performed using G*Power 3.1.9.7 (Franz Faul, University of Kiel, Kiel, Germany) at the effect size of 0.60, the significant level of 0.05 ($\alpha = 0.05$), and the power of 0.8. G*Power showed that 20 subjects in the Kung Fu group are needed to secure a sufficient power based on the previous assumption.

54 young inactive men voluntarily participated in this study, but only 51 of them completed it. 3 subjects dropped out and were excluded from all analyses since they were obliged to travel for professional reasons (2 subjects from the Kung Fu group and one subject from the control group). Thus, 20 subjects from the Kung Fu group and 31 subjects from the control group completed the study. All the subjects were checked by a specialized physician who gave them the approval to participate in the recreational Kung Fu intervention.

Measurements

All measurements (anthropometrics, body composition, bone, physical performance parameters, blood, blood pressure and data using questionnaires) were performed in the two groups before and after the one-year training period.

Anthropometric measurements

A standard mechanical scale (precision 100g) was used to measure body weight. Body height was measured by a standard stadiometer (vertical position to the nearest 0.5 cm). Subjects were wearing light clothes and were barefooted while conducting the measurements. BMI was calculated by dividing body weight to the height squared (kg/m^2). Body composition including lean mass (kg), fat mass (kg) and body fat percentage (%) was also assessed by using dual-energy X-ray densitometry (DXA; GE-Lunar iDXA, Madison, WI).

Bone measurements

BMD measurements were performed for the whole body (WB), the lumbar spine (L1-L4), the total hip (TH), the femoral neck (FN) and Total Forearm BMD of the right side using dual-energy X-ray densitometry (DXA; GE-Lunar iDXA, Madison, WI). 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 calculated directly by DXA. Composite indices of femoral neck strength were calculated as previously described by Karlamangla et al. (12). These indices can predict hip fracture risk in the elderly (12), (54-58). Compressive strength index (CSI) ($\text{CSI} = [\text{FN BMD} * \text{FN width} / \text{weight}]$) and bending strength index (BSI) ($\text{BSI} = [\text{FN BMD} * \text{FN width}^2] / [\text{hip axis length} * \text{weight}]$) express the forces that the FN has to withstand in axial compressive and bending forces, whereas impact strength index (ISI) ($\text{ISI} = [\text{FN BMD} * \text{FN width} * \text{hip axis length}] / [\text{height} * \text{weight}]$) expresses the energy that the FN has to absorb in an impact from standing height (55-59). The same certified technician (holder of a Bachelor of Science in medical imaging sciences) performed all the DXA scans using the same technique for all measurements. The same DXA machine was used for all participants. In our laboratory, the coefficients of variation were $< 1\%$ for BMC and

BMD. The coefficients of variation for CSA and Z evaluated by duplicate measurements in 10 subjects were < 3%.

Procedures of physical performance tests

All subjects were familiarized with the procedures and the equipment needed to perform the physical tests by participating in an explanatory session prior to the evaluation procedures. Testing was done on three non-consecutive days. On the first day, the times of the ten-meter sprint, vertical jump and horizontal jump were determined (60-62). On the second day, maximal oxygen consumption was determined (63). On the third day, one-repetition maximum (1-RM) of half-squat, 1-RM deadlift and 1-RM bench press were measured (64).

Questionnaires

Daily calcium intake (DCI), daily protein intake (DPI), Pittsburgh sleep quality index (PSQI), physical activity level (minutes/week), bone loading scores (BPAQ scores) and quality of life SF-12 scores (mental component score (MCS) and physical component score (PCS)) were evaluated by validated questionnaires (65-70). These questionnaires have been previously described in detail (65-70).

Blood samples

Blood samples were collected after 8 hours fasting for glucose, triglycerides, total cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) levels (mg/dl). All values were measured based on enzymatic and colorimetric methods using a Cobas® 702 auto-analyzer (Roche, Basel, Switzerland).

Blood pressure

Systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) were measured in a sitting position with the right arm supported at the heart level using an electronic sphygmomanometer (HEM-7120, Omron, Kyoto, Japan).

Recreational Kung Fu protocol

The training lasted for 1 year with two training sessions per week. All participants played Kung Fu in the same Dojo. All recreational Kung Fu sessions were supervised by a certified Kung Fu trainer. The first session of the week was oriented towards muscular endurance and the second session was oriented towards muscular power.

The Kung Fu group was training in a full equipped Dojo for the Kung Fu fight (Sanda; 8 × 8 m). The experimental group was divided into two teams of 11 per session to allow the players to fit in the training room. During the power session, 11 trained in the morning and 11 trained in the evening, and the same organization was used for the endurance session.

In the power session, the subjects were punching and kicking the bag as hard as they could (where they performed 5 circuits of 5 sets of 10 seconds each). In addition, they took 40 seconds of recovery between sets and 4 minutes of recovery between circuits. In addition, Tai chi positions were added to oblige the players to use their different body parts; for example, the player takes the hors stance (as semi squat position) and punches. Moreover, falling technics were taught at the end of each power session which could positively affect the BMD of the loaded sites of the body.

In the endurance session, the subjects performed exercises at high speed and high intensity. The player was intensively mixing punches and kicks into the bag intensively (where he performed 5 circuits of 5 sets of 25 seconds each). The player was asked to punch and kick as fast as he could into the bag, without taking a break for 25 seconds consistently (where he took 20 seconds of recovery between sets and 3 minutes of recovery between circuits). Indeed, the resting time was minimized, which could stimulate the heart rate, VO₂ max and the cardiovascular system of the players during the whole session.

Statistical analysis

The means and the standard deviations or standard errors of the means were calculated for each variable. Intergroup differences were judged using Student's t-test for parametric variables and Mann-Whitney U test for non-parametric variables. To judge possible longitudinal differences in the groups (Kung Fu and control groups) following training, we used a two-way repeated-measure analysis of variance (two-way-RM-ANOVA) with Holm-Sidak post-hoc testing. The percentages of variations in physical performance qualities and bone parameters were calculated for the 2 groups. A value of $p < 0.05$ was required in order to confirm the significance of the results. We calculated Cohen's d (which is the difference between the means of the two groups (pre-post training changes in the Kung Fu group in our study) divided by a pooled standard deviation) for BMD values. Cohens' d is a standardized measure of the effect of a factor (which is Kung Fu practice in our study) independent of the scale of the parameter under consideration. It has been demonstrated that a Cohen's d of 0.2 corresponds to a small effect size, 0.5 to a medium effect size and 0.8 to a large effect size (71). Statistical analyses were performed using the Sigma-Stat 3.1 Program (Jandel Corp., San Rafael, CA).

Results

Clinical characteristics and bone variables of the study population at baseline

There were no significant differences between the two groups regarding anthropometrical characteristics. Total cholesterol, ultra-distal (UD) Radius BMD and 1/3 Radius BMD were significantly higher in the control

Table 1
Clinical characteristics and bone variables of study population at baseline.

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
Age (years)	23.5 ± 3.1	25.1 ± 3.2	0.07
Height (cm)	177.0 ± 6.6	174.7 ± 6.7	0.23
Weight (kg)	77.650 ± 13.797	76.452 ± 13.479	0.76
Fat mass (kg)	19.747 ± 8.048	20.976 ± 8.629	0.61
Fat mass (%)	24.6 ± 6.8	26.1 ± 7.6	0.46
Lean mass (kg)	55.082 ± 7.757	53.077 ± 7.913	0.37
BMI (kg/m ²)	24.7 ± 3.8	25.0 ± 4.6	0.77
Physical activity (m/week)	62.5 ± 27.8	57.1 ± 26.2	0.51
Current BPAQ	10.5 ± 21	0.06 ± 0.19	0.46
Past BPAQ	11.23 ± 14.15	10.05 ± 15.17	0.77
Total BPAQ	5.6 ± 7.1	4.42 ± 5.44	0.47
PCS	41.4 ± 3.06	40.7 ± 2.8	0.40
MCS	42.4 ± 4.5	41.6 ± 2	0.45
PSQI	4.7 ± 1.5	4.1 ± 1.2	0.14
DCI (mg/j)	1015 ± 342	914.1 ± 146.9	0.15
DPI (g/j)	83.0 ± 18.4	76.1 ± 10.5	0.09
SBP (mm Hg)	125.5 ± 8.8	131.1 ± 9.0	0.03
DBP (mm Hg)	78.7 ± 9.9	78.8 ± 8.1	0.96
Total cholesterol (mg/dl)	151.9 ± 26.3	171.1 ± 35.5	0.03
HDL-C (mg/dl)	43.6 ± 7.3	45.6 ± 8.4	0.34
LDL-C (mg/dl)	92.2 ± 21.9	104.9 ± 30.8	0.11
Triglycerides (mg/dl)	81.4 ± 26.1	98.3 ± 53.4	0.19
Glucose (mg/dl)	88.2 ± 5.9	88.6 ± 8.6	0.87
WB BMC (g)	2894.450 ± 452.563	2866.161 ± 459.537	0.83
WB BMD (g/cm ²)	1.275 ± 0.124	1.257 ± 0.141	0.63
L1-L4 TBS	1.488 ± 0.102	1.465 ± 0.117	0.47
L1-L4 BMD (g/cm ²)	1.213 ± 0.132	1.193 ± 0.183	0.67
FN BMD (g/cm ²)	1.099 ± 0.123	1.065 ± 0.165	0.42
TH BMD (g/cm ²)	1.108 ± 0.142	1.076 ± 0.175	0.50
UD radius BMD (g/cm ²)	0.592 ± 0.045	0.634 ± 0.078	0.03
1/3 radius BMD (g/cm ²)	0.899 ± 0.072	0.932 ± 0.083	0.01
Total radius BMD (g/cm ²)	0.761 ± 0.053	0.800 ± 0.076	0.04
Total forearm BMD (g/cm ²)	0.740 ± 0.054	0.810 ± 0.019	0.10
CSI (g/kg-m)	4.66 ± 0.79	4.68 ± 0.93	0.95
BSI (g/kg-m)	1.31 ± 0.34	1.46 ± 0.60	0.30
ISI (g/kg-m)	0.309 ± 0.057	0.307 ± 0.082	0.91
CSA (mm ²)	180 ± 29	173 ± 36	0.47
CSMI (mm ⁴)	15696 ± 4667	14639 ± 4649	0.62
Z (mm ³)	888 ± 192	864 ± 227	0.70
SI	1.48 ± 0.30	1.37 ± 0.43	0.33
BR	3.59 ± 1.59	4.05 ± 1.69	0.33

BMI: body mass index; DCI: daily calcium intake; DPI: daily protein intake; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire; MCS: mental component score; PCS: physical component score; PSQI: Pittsburgh sleep quality index; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; C: Cholesterol; WB: whole body; WB BMC: whole body bone mineral content; WB BMD: whole body bone mineral density; L1-L4: Lumbar spine; TBS: Trabecular bone score; TH BMD: total hip bone mineral density; FN: femoral neck bone mineral density; UD: ultra-distal; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio.

Table 2
Physical performance variables of the study population at baseline.

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
1-RM bench press (kg)	72.4 ± 12.3	66.4 ± 13.8	0.12
1-RM squat (kg)	70.9 ± 14.2	71.2 ± 13.2	0.93
1-RM deadlift (kg)	91.6 ± 20.9	86.8 ± 13.2	0.32
VO ₂ max (ml/min/kg)	37.7 ± 3.5	39.0 ± 3.4	0.19
Sprint 20 m (sec)	3.00 ± 0.17	3.05 ± 0.35	0.57
Horizontal jump (m)	1.61 ± 0.19	1.55 ± 0.19	0.35
Triple jump (m)	4.26 ± 0.39	4.08 ± 0.35	0.08
5 Hops (m)	7.21 ± 1.07	6.47 ± 1.27	0.03
Vertical Jump (cm)	34.9 ± 2.9	36.5 ± 2.7	0.05
LL power (watts)	993 ± 165	1001 ± 172	0.87

1-RM: one repetition maximum; VO₂ max: Maximum oxygen consumption; LL: Lower limbs.

group compared to the Kung Fu group. SBP was higher in the control group compared to the Kung Fu group (Table 1).

Physical performance variables of the study population at baseline

There were no significant differences between the two groups regarding maximal strength parameters. Performance in 5 Hops was significantly higher in the Kung Fu group compared to the control group (Table 2).

Clinical characteristics and bone variables of the study population after 12 months of training

There were no significant differences between the two groups regarding weight, lean mass, fat mass and fat mass percentage. Physical activity, current BPAQ score, total BPAQ score, PCS, PSQI, DPI, SBP, total cholesterol, LDL-C, triglycerides, glucose and L1-L4 TBS were significantly different between the two groups (Table 3).

Physical performance variables of the study population after 12 months of training

1-RM bench press, 1-RM squat, 1-RM deadlift, VO₂ max, 20 m sprint, horizontal jump and triple jump were significantly higher in the Kung Fu group compared to the control group (Table 4).

Differences in the percentages of variations related to clinical and bone parameters between the 2 groups

Total cholesterol, LDL-C, triglycerides, glucose, physical activity, BPAQ, PCS, MCS, SBP, DBP, WB BMC, WB BMD, L1-L4 TBS, UD radius BMD, 1/3 radius BMD, total radius BMD, total forearm BMD, ISI, CSA,

CMSI and BR percentages of variations were significantly different between the two groups (Table 5).

Differences in the percentages of variation related to physical performance parameters between the 2 groups

1-RM bench press, 1-RM squat, 1-RM deadlift, VO₂ max, 20 m sprint, horizontal jump, triple jump, 5 hops and vertical jump percentages of variations were significantly different between the two groups (Table 6).

Group * time effects on clinical and bone parameters

There were group * time interactions in physical activity, total cholesterol, LDL-C, triglycerides, glucose, PCS, MCS, SBP, DBP, WB BMC, WB BMD, L1-L4 TBS, UD radius BMD, total radius BMD and total forearm BMD (Table 7).

Within group changes: clinical and bone parameters at baseline and after the 1-year training period

Physical activity, WB BMD, WB BMC, UD radius BMD, 1/3 radius BMD, total radius BMD, and total forearm BMD increased in the Kung Fu group. Total cholesterol, LDL-C, triglycerides and glucose decreased in the Kung Fu group. WB BMC, L1-L4 TBS, UD radius BMD, 1/3 radius BMD, total radius BMD and total forearm BMD decreased in the control group. PCS and MCS increased in the Kung Fu group. SBP and DBP decreased in the Kung Fu group (Table 7).

Group * time effects on physical performance parameters

There were group * time interactions in 1-RM bench press, 1-RM squat, 1-RM deadlift, vertical jump, horizontal jump, 20 m sprint and VO₂ max (Table 8).

Table 3
Clinical characteristics and bone variables of the study population after 12 months of training.

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
Age (years)	24.6 ± 3.05	26.19 ± 3.2	0.086
Height (cm)	177.05 ± 6.63	174.7 ± 6.7	0.237
Weight (kg)	79.025 ± 15.536	78.194 ± 13.437	0.840
Fat mass (kg)	20.142 ± 8.732	22.163 ± 8.863	0.428
Fat mass (%)	24.8 ± 6.8	26.6 ± 7.8	0.427
Lean mass (kg)	55.645 ± 8.423	53.722 ± 8.185	0.422
BMI (kg/m ²)	25.1 ± 4.07	25.6 ± 4.9	0.700
Physical activity (min/week)	91.0 ± 15.1	56.7 ± 22.5	<0.001
Current BPAQ	15.9 ± 3.7	0.2 ± 0.8	<0.001
Past BPAQ	9.3 ± 11.4	10.5 ± 15.2	0.773
Total BPAQ	15.6 ± 19.7	5.07 ± 5.5	0.007
PCS	42.7 ± 3.2	40.5 ± 2.7	0.010
MCS	43.1 ± 4.6	41.5 ± 2.5	0.113
PSQI	4.9 ± 1.3	4.1 ± 1.1	0.034
DCI (mg/d)	1024.3 ± 313.5	930.4 ± 154.5	0.161
DPI (g/d)	87.5 ± 18.8	78.2 ± 10.6	0.028
SBP (mm Hg)	120.5 ± 8.8	129.8 ± 10.2	0.002
DBP (mm Hg)	76 ± 13.1	81.1 ± 9.4	0.111
Total cholesterol (mg/dl)	140.4 ± 23.9	173.7 ± 32.2	<0.001
HDL-C (mg/dl)	44.8 ± 6.5	47.3 ± 8.7	0.20
LDL-C (mg/dl)	86.1 ± 21.2	106.8 ± 30.5	0.011
Triglycerides (mg/dl)	72.1 ± 19.6	101.6 ± 53.8	0.023
Glucose (mg/dl)	83.7 ± 5.9	90.7 ± 8.8	0.003
WB BMC (g)	2964 ± 435	2707 ± 479	0.059
WB BMD (g/cm ²)	1.289 ± 0.121	1.215 ± 0.150	0.071
L1-L4 TBS	1.513 ± 0.089	1.417 ± 0.109	0.002
L1-L4 BMD (g/cm ²)	1.216 ± 0.142	1.200 ± 0.227	0.773
FN BMD (g/cm ²)	1.098 ± 0.115	1.056 ± 0.169	0.336
TH BMD (g/cm ²)	1.105 ± 0.131	1.063 ± 0.165	0.353
UD radius BMD (g/cm ²)	0.616 ± 0.056	0.603 ± 0.08	0.554
1/3 radius BMD (g/cm ²)	0.925 ± 0.074	0.904 ± 0.098	0.416
Total radius BMD (g/cm ²)	0.789 ± 0.06	0.775 ± 0.08	0.527
Total forearm BMD (g/cm ²)	0.770 ± 0.06	0.788 ± 0.184	0.681
CSI (g/kg-m)	4.62 ± 0.90	4.46 ± 0.90	0.289
BSI (g/kg-m)	1.30 ± 0.36	1.40 ± 0.58	0.512
ISI (g/kg-m)	0.306 ± 0.06	0.287 ± 0.07	0.359
CSA (mm ²)	184 ± 35	168 ± 34	0.126
CSMI (mm ⁴)	15739 ± 4457	13823 ± 4953	0.167
Z (mm ³)	891.8 ± 175.3	830.3 ± 226.2	0.308
SI	1.305 ± 0.333	1.310 ± 0.412	0.966
BR	3.775 ± 1.825	3.874 ± 1.690	0.844

BMI: body mass index; DCI: daily calcium intake; DPI: daily protein intake; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire; MCS: mental component score; PCS: physical component score; PSQI: Pittsburgh sleep quality index; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; C: Cholesterol; WB: whole body; WB BMC: whole body bone mineral content; WB BMD: whole body bone mineral density; L1-L4: Lumbar spine; TBS: Trabecular bone score; TH BMD: total hip bone mineral density; FN: femoral neck bone mineral density; UD: ultra-distal; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio.

Table 4
Physical performance variables of the study population after 12 months of training.

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
1-RM bench press (kg)	77.9 ± 12.6	64.3 ± 12.9	<0.001
1-RM squat (kg)	79.5 ± 15.1	69.2 ± 13.1	0.014
1-RM deadlift (kg)	103.2 ± 20.1	85.3 ± 12.6	<0.001
VO ₂ max (ml/min/kg)	41.8 ± 3.1	37.8 ± 3.1	<0.001
Sprint 20 m (sec)	2.9 ± 0.1	3.1 ± 0.3	0.032
Horizontal jump (m)	1.6 ± 0.2	1.5 ± 0.2	0.03
Triple jump (m)	4.4 ± 0.4	4.02 ± 0.3	0.001
5 Hops (m)	7.4 ± 1.05	6.3 ± 1.2	0.224
Vertical jump (cm)	35.3 ± 2.9	36.2 ± 2.7	0.229
LL power (watts)	1016.4 ± 189.3	1020.2 ± 167.9	0.941

1-RM: one repetition maximum; VO₂ max: Maximum oxygen consumption; LL: Lower limbs.

Table 5
Differences in the percentages of variations of clinical and bone variables between the two groups.

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
Weight (kg)	1.6 ± 6.6	2.4 ± 3.3	0.605
Fat mass (kg)	2.0 ± 2.2	5.65 ± 0.9	0.532
Fat mass (%)	2.1 ± 1.6	1.6 ± 3	0.858
Lean mass (g)	0.96 ± 4.71	1.2 ± 1.9	0.811
BMI (kg/m ²)	1.7 ± 6.5	2.2 ± 5	0.751
Total cholesterol (mg/dl)	-7.5 ± 3.7	1.7 ± 4.3	<0.001
HDL-C (mg/dl)	4.3 ± 12.8	4.04 ± 7.8	0.918
LDL-C (mg/dl)	-6.5 ± 8.1	2.06 ± 4.2	<0.001
Triglycerides (mg/dl)	-9.1 ± 11.8	4.1 ± 5.1	<0.001
Glucose (mg/dl)	-5.0 ± 3.2	2.5 ± 3.7	<0.001
DCI (mg/j)	1.4 ± 4.7	1.8 ± 5.2	0.770
DPI (mg/j)	5.6 ± 4.9	2.9 ± 6.4	0.111
Physical activity (m/week)	45.6 ± 6.8	6.9 ± 0.3	<0.001
Current BPAQ	13.4 ± 29.7	0.24 ± 1.34	0.016
Past BPAQ	5.4 ± 14.9	0.07 ± 0.26	0.049
Total BPAQ	17.4 ± 34.5	0.69 ± 3.3	0.010
SBP (mm Hg)	-3.8 ± 4.6	-0.9 ± 4.2	0.024
DBP (mm Hg)	-3.5 ± 10.3	3.1 ± 9.5	0.022
PSQI	8.5 ± 2.4	0 ± 1.2	0.176
PCS	3.38 ± 2.8	-0.5 ± 2.4	<0.001
MCS	1.7 ± 1.2	-1.2 ± 1.7	<0.001
WB BMC (g)	2.61 ± 3.41	-5.60 ± 5.1	<0.001
WB BMD (g/cm ²)	1.12 ± 1.98	-3.3 ± 4.2	<0.001
L1-L4 TBS	1.8 ± 3.8	-3.1 ± 4.6	<0.001
L1-L4 BMD (g/cm ²)	0.2 ± 3.5	0.8 ± 1.49	0.864
FN BMD (g/cm ²)	-0.00 ± 3.25	0.89 ± 3.11	0.328
TH BMD (g/cm ²)	-0.13 ± 2.4	-1.1 ± 2.1	0.146
UD Radius BMD (g/cm ²)	4.12 ± 6.6	-4.9 ± 6.1	<0.001
1/3 radius BMD (g/cm ²)	2.88 ± 4.17	-3.0 ± 4.5	<0.001
Total radius BMD (g/cm ²)	3.9 ± 5.9	3.1 ± 4.09	<0.001
Total forearm BMD (g/cm ²)	4.2 ± 4.5	-2.8 ± 3.3	<0.001

(continued)

Table 5 (Continued)

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
CSI (g/kg-m)	-0.85 ± 9.2	-4.7 ± 5.7	0.091
BSI (g/kg-m)	-0.76 ± 16	-4.1 ± 9.7	0.130
ISI (g/kg-m)	-0.9 ± 9	-6.5 ± 6.8	0.029
CSA (mm ²)	2.45 ± 14.4	-2.8 ± 2.5	0.048
CSMI (mm ⁴)	-0.2 ± 1.2	-8.09 ± 1.6	0.038
Z (mm ³)	1.7 ± 1.51	-3.9 ± 7	0.076
SI	-8.7 ± 29.8	-4.6 ± 7.2	0.470
BR	0.111 ± 0.440	-0.051 ± 0.062	0.048

BMI: body mass index; DCI: daily calcium intake; DPI: daily protein intake; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire; MCS: mental component score; PCS: physical component score; PSQI: Pittsburgh sleep quality index; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; C: Cholesterol; WB: whole body; WB BMC: whole body bone mineral content; WB BMD: whole body bone mineral density; L1-L4: Lumbar spine; TBS: Trabecular bone score; TH BMD: total hip bone mineral density; FN: femoral neck bone mineral density; UD: ultra-distal; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio.

Table 6

Differences in the percentages of variations of physical performance variables between the two groups.

	Kung Fu group (n = 20) Mean ± SD	Control group (n = 31) Mean ± SD	p-value
1-RM bench press (kg)	7.9 ± 5.2	-2.8 ± 5.7	< 0.001
1-RM squat (kg)	12.4 ± 6.3	-2.6 ± 7.1	< 0.001
1-RM deadlift (kg)	13.9 ± 6.8	-1.5 ± 5.2	< 0.001
VO ₂ max (ml/min/kg)	11.1 ± 3.7	-2.9 ± 3.9	< 0.001
Sprint 20 m (sec)	-2.3 ± 2.8	2.3 ± 2.9	< 0.001
Horizontal jump (m)	4.8 ± 1.8	-2.8 ± 2.3	< 0.001
Triple jump (m)	3.3 ± 2.7	-1.4 ± 2.1	< 0.001
5 Hops (m)	2.8 ± 2.2	-1.2 ± 1.2	< 0.001
Vertical jump (cm)	1.1 ± 0.7	-0.6 ± 0.7	< 0.001
LL power (watts)	2.2 ± 6.8	2.0 ± 3.2	0.902

1-RM: one repetition maximum; VO₂ max: Maximum oxygen consumption; LL: Lower limbs.

Within group changes: performance variables at baseline and after the 1-year training period

1-RM bench press, 1-RM squat, 1-RM deadlift, horizontal jump, vertical jump and VO₂ max increased in the Kung Fu group. The 20 m sprint performance improved (decrease in the time of the sprint) in the Kung Fu group. 1-RM bench press, 1-RM squat, horizontal jump and VO₂ max decreased in the control group (Table 8). The 20 m sprint performance decreased (increase in the time of the sprint) in the control group (Table 8).

Effect sizes for BMD highlighting pre-post training changes in the Kung Fu group

The largest effect size was shown for forearm BMD (Table 9).

Discussion

This study conducted on a group of young inactive men mainly shows that a one-year recreational Kung Fu intervention improves WB BMC, forearm BMD and physical performance parameters. In addition, positive effects on blood lipid profile, glycemic control, blood pressure and quality of life were noted in the Kung Fu group.

In response to training, maximal strength, VO₂ max, sprinting and jumping performances increased in the Kung Fu group but not in the control group. This result was very obvious in the different statistical analyses used in this study. Therefore, 2 sessions of recreational Kung Fu training per week performed over one year seem sufficient to enhance physical performances in inactive young men. In parallel, the intervention induced significant

Table 7
Clinical and bone parameters at baseline and after the one-year intervention period in the two groups.

	Kung Fu group (n=20)		Control group (n=31)		F	Between-group difference for the change over time P-value
	Pre	Post	Pre	Post		
Weight (kg)	77.650±0.628	79.025 ± 0.628	76.452 ± 0.512	78.194 ± 0.512	0.0385	0.845
Lean mass (kg)	55.082 ± 0.286	55.645 ± 0.286	53.077 ± 0.233	53.722 ± 0.233	0.00738	0.932
Fat mass (kg)	19.747 ± 0.487	20.142 ± 0.487	20.976 ± 0.397	22.163 ± 0.397	0.550	0.462
Fat mass (%)	24.6 ± 0.3	24.8 ± 0.3	26.1 ± 0.3	26.6 ± 0.3	0.0246	0.876
Physical activity (m/week)	62.5 ± 2.8	91.0 ± 2.8*	57.1 ± 2.3	56.7 ± 2.3	31.732	<0.001
Total cholesterol (mg/dl)	151.950 ± 1.588	140.410 ± 1.588*	171.157 ± 1.295	173.724 ± 1.295	22.355	<0.001
HDL-C (mg/dl)	43.65 ± 0.6	44.86 ± 0.6	45.6 ± 0.5	47.3 ± 0.5	0.220	0.641
LDL-C (mg/dl)	92.250 ± 1.423	86.180 ± 1.423*	104.955 ± 1.160	106.889 ± 1.160	5.891	0.019
Triglycerides (mg/dl)	81.450 ± 1.784	72.165 ± 1.784*	98.391 ± 1.455	101.691 ± 1.455	14.463	<0.001
Glucose (mg/dl)	88.250 ± 0.588	83.785 ± 0.588*	88.657 ± 0.480	90.724 ± 0.480*	31.530	<0.001
PCS	41.497 ± 0.172	42.769 ± 0.172*	40.735 ± 0.140	40.457 ± 0.140	27.738	<0.001
MCS	42.405 ± 0.103	43.135 ± 0.103*	41.673 ± 0.0839	41.547 ± 0.0839	45.786	<0.001
PSQI	4.700 ± 0.07	4.950 ± 0.07	4.192 ± 0.05	4.158 ± 0.05	2.013	0.162
DCI (mg/d)	1015.177 ± 8.512	1024.319 ± 8.512	913.222 ± 6.943	929.135 ± 6.943	0.190	0.665
DPI (g/d)	83.056 ± 0.702	87.555 ± 0.702	76.103 ± 0.573	78.266 ± 0.573	3.608	0.064
SBP (mm Hg)	125.500 ± 0.890	120.500 ± 0.890*	131.125 ± 0.726	129.825 ± 0.726	6.063	0.017
DBP (mm Hg)	78.750 ± 1.176	76.000 ± 1.176*	78.869 ± 0.959	81.169 ± 0.959	4.897	0.032
WB BMD (g/cm ²)	1.275 ± 0.006	1.289 ± 0.006*	1.257 ± 0.004	1.215 ± 0.004*	26.865	<0.001
WB BMC (g)	2894.450 ± 20.245	2964.800 ± 20.245*	2866.150 ± 16.513	2707.250 ± 16.513*	38.169	<0.001
L1-L4 BMD (g/cm ²)	1.213 ± 0.0213	1.216 ± 0.0213	1.193 ± 0.0174	1.200 ± 0.0174	0.0131	0.909
L1-L4 TBS	1.48 ± 0.01	1.51 ± 0.01	1.46 ± 0.01	1.41 ± 0.01*	0.82	0.002
FN BMD (g/cm ²)	1.099 ± 0.005	1.098 ± 0.005	1.065 ± 0.004	1.056 ± 0.004	0.338	0.564
TH BMD (g/cm ²)	1.108 ± 0.004	1.105 ± 0.004	1.076 ± 0.003	1.063 ± 0.003	1.086	0.302
UD Radius BMD (g/cm ²)	0.592 ± 0.006	0.616 ± 0.006*	0.634 ± 0.005	0.603 ± 0.005*	24.354	<0.001
1/3 Radius BMD (g/cm ²)	0.899 ± 0.006	0.925 ± 0.006*	0.932 ± 0.004	0.904 ± 0.004*	26.610	<0.001
Total Radius BMD (g/cm ²)	0.761 ± 0.006	0.789 ± 0.006*	0.800 ± 0.005	0.775 ± 0.005*	25.678	<0.001
Total Forearm BMD (g/cm ²)	0.740 ± 0.004	0.770 ± 0.004*	0.810 ± 0.004	0.788 ± 0.004*	42.242	<0.001
CSA (mm ²)	180.8 ± 2.7	184.0 ± 2.7	173.3 ± 2.2	168.7 ± 2.2	2.971	0.09
CSMI (mm ⁴)	15696 ± 370	15739 ± 370	14887 ± 302	13802 ± 302	2.77	0.10
Z (mm ³)	888 ± 13.9	891 ± 13.9	855 ± 11.3	829 ± 11.3	1.37	0.24
SI	1.485 ± 0.0443	1.305 ± 0.0443	1.370 ± 0.0361	1.310 ± 0.0361	2.204	0.144
BR	3.590 ± 0.163	3.775 ± 0.163	4.050 ± 0.133	3.874 ± 0.133	1.046	0.31
CSI (g/kg-m)	4.668 ± 0.0543	4.626 ± 0.0543	4.685 ± 0.0543	4.462 ± 0.0543	1.98	0.16
BSI (g/kg-m)	1.312 ± 0.0199	1.306 ± 0.0251	1.455 ± 0.020	1.400 ± 0.020	1.14	0.29
ISI (g/kg-m)	0.309 ± 0.005	0.307 ± 0.005	0.306 ± 0.004	0.287 ± 0.004	3.48	0.06

Values are means ± SE. BMI: body mass index; DCI: daily calcium intake; DPI: daily protein intake; BPAQ: bone-specific physical activity questionnaire; MCS: mental component score; PCS: physical component score; PSQI: Pittsburgh sleep quality index; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; C: Cholesterol; WB: whole body; WB BMC: whole body bone mineral content; WB BMD: whole body bone mineral density; L1-L4: Lumbar spine; TBS: Trabecular bone score; TH BMD: total hip bone mineral density; FN: femoral neck bone mineral density; UD: ultra-distal; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; CSA: cross-sectional area; CSMI: cross-sectional moment of inertia; Z: section modulus; SI: strength index; BR: buckling ratio.

p-value for Group-by-time interaction in repeated measures ANOVA on pre–post data (represents between-group difference for the change over time).

*Significant pre–post difference within group (p<0.05).

Table 8
Physical performance variables at baseline and after the one-year intervention period in the two groups.

	Kung Fu group (n=20)		Control group (n=31)		F	Between-group difference for the change over time P-value
	Pre	Post	Pre	Post		
1-RM bench press (Kg)	72.4 ± 0.9	77.9 ± 0.9*	67.02 ± 0.8	64.6 ± 0.8*	18.943	< 0.001
1-RM squats (Kg)	70.9 ± 0.6	79.5 ± 0.6*	71.1 ± 0.5	69.0 ± 0.5*	73.512	< 0.001
1-RM deadlift (Kg)	91.6 ± 1.0	103.2 ± 1.0*	87.7 ± 0.8	85.4 ± 0.8	53.455	< 0.001
VO ₂ max (ml/min/kg)	37.735 ± 0.23	41.825 ± 0.230*	38.998 ± 0.187	37.948 ± 0.187*	150.383	< 0.001
Sprint 20 m (s)	3.0 ± 0.02	2.9 ± 0.02*	3.0 ± 0.01	3.1 ± 0.01	10.539	0.002
Horizontal jump (cm)	1.611 ± 0.005	1.691 ± 0.005*	1.552 ± 0.004	1.509 ± 0.004*	134.194	< 0.001
Vertical jump (cm)	34.9 ± 0.09	35.3 ± 0.09*	36.6 ± 0.07	36.4 ± 0.07	11.988	0.001
LL power (watts)	993.4 ± 8.0	1016.4 ± 8.0	1002.1 ± 6.5	1019.4 ± 6.5	0.155	0.696

Values are means ± SE. p-value for Group-by-time interaction in repeated measures ANOVA on pre–post data (represents between-group difference for the change over time).

*Significant pre–post difference within group (p<0.05).

Table 9
Effect sizes for BMD highlighting pre-post training changes in the Kung Fu group.

	Cohen's d value	Interpretation
WB BMD	0.11	Very small
L1-L4 BMD	0.02	Very small
FN BMD	-0.00	Very small
TH BMD	-0.02	Very small
UD Radius BMD	0.47	Small
1/3 Radius BMD	0.42	Small
Total Radius BMD	0.49	Small
Total Forearm BMD	0.52	Medium

WB: Whole body; BMD: Bone mineral density; FN: Femoral neck; TH: Total hip; UD: Ultra-distal.

decreases in blood glucose, total cholesterol, LDL-cholesterol and SBP in the Kung Fu group highlighting the health benefits of this one-year intervention. Future studies are needed to assess the impact of Kung Fu training on health parameters in subjects with metabolic syndrome. Although the intervention was not sufficient for decreasing body fat nor increasing lean mass, quality of life related variables (PCS and MCS) were improved in the Kung Fu stressing the importance of this intervention. Recent studies suggest that combined strength and aerobic training is the most effective training in reducing body fat while resistance training is the most effective one in increasing lean mass (72-74).

Significant improvements in bone health parameters were also detected in the Kung Fu group; the largest effect sizes were shown for forearm BMD highlighting the fact that BMD at the forearm responded very well in response to this training protocol. This result seems

logical since the majority of the used exercises in the training protocol targeted this region highlighting the importance of the specificity principle which states that “only skeletal sites exposed to a change in daily loading forces undergo adaptation” (27). In parallel, previous studies showed significant improvements in hip and spine BMD in response to team sports training protocols such as volley-ball, basket-ball and soccer (27,75-77). Interestingly, hip bone loading and spine bone loading scores are lower in Kung Fu compared to volley-ball, basket-ball, soccer and gymnastics (69,77). The latter might explain the lack of significant improvements in hip and lumbar spine BMD in the Kung Fu group of the current study.

The current study has many limitations. First, the study was conducted during the Covid-19 crisis which negatively affected the recruitment process; as such, the number of participants was relatively low. Second, the number of training sessions per week was relatively low; this may explain the lack of significant differences in fat mass and lean mass in the experimental group. Third, we could not evaluate several important bone health determinants such as sex hormones, growth hormone, insulin-like growth factor 1 (IGF-1) and daily caloric intake. Last, only DXA was used to evaluate bone health parameters. However, the current longitudinal study has several important strengths including the long duration of training, the number of bone health parameters measured and the total number of parameters included. Moreover, up to our knowledge, this is the first study to demonstrate clear positive effects of a one-year recreational Kung Fu protocol on bone health parameters in a group of young inactive men. Future studies are needed to verify whether the bone response to such an intervention is similar in young inactive women and whether Kung Fu practice can have a positive effect on BMD and fracture risk in osteoporotic/osteopenic subjects. Kung Fu practice seems to

have an important role in the prevention of osteoporosis especially at the forearm site. Health professionals should take our results into consideration when designing physical training programs that aim at preventing osteoporosis.

In conclusion, the current study shows that Kung Fu training increases forearm BMD and physical performance parameters, improves blood lipid profile and blood pressure, and ameliorates quality of life in young inactive men.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- World Health Organization. 1994 Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. World Health Organ Tech Rep Ser 843:1–129.
- NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. 2001 Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA* 285:785–795.
- Compston JE. 2001 Sex steroids and bone. *Physiol Rev* 81:419–447.
- Eisman JA. 1999 Genetics of osteoporosis. *Endocr Rev* 20:788–804.
- Pouresmaeili F, Kamalidehghan B, Kamarehei M, Goh YM. 2018 A comprehensive overview on osteoporosis and its risk factors. *Ther Clin Risk Manag* 14:2029–2049.
- Szulec P, Munoz F, Duboeuf F, Marchand F, Delmas PD. 2005 Bone mineral density predicts osteoporotic fractures in elderly men: the MINOS study. *Osteoporos Int* 16(10):1184–1192.
- Pasco JA, Seeman E, Henry MJ, Merriman EN, Nicholson GC, Kotowicz MA. 2006 The population burden of fractures originates in women with osteopenia, not osteoporosis. *Osteoporos Int* 17(9):1404–1409.
- Sornay-Rendu E, Munoz F, Garnero P, Duboeuf F, Delmas PD. 2005 Identification of osteopenic women at high risk of fracture: the OFELY study. *J Bone Miner Res* 20(10):1813–1819.
- 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):S5–17.
- Bousson V, Bergot C, Sutter B, et al. 2015 Trabecular bone score: where are we now? *Joint Bone Spine* 82:320–325.
- Beck TJ, Ruff CB, Warden KE, Scott WW, Rao GU. 1990 Predicting femoral neck strength from bone mineral data. A structural approach. *Invest Radiol* 25:6–18.
- Karlamangla AS, Barrett-Connor E, Young J, Greendale GA. 2004 Hip fracture risk assessment using composite indices of femoral neck strength: the Rancho Bernardo study. *Osteoporos Int* 15(1):62–70.
- Madeo B, Zirilli L, Caffagni G, Diazi C, Sanguanini A, Pignatti E, et al. 2007 The osteoporotic male: Overlooked and undermanaged? *Clin Interv Aging* 2:305–312.
- Demontiero O, Vidal C, Duque G. 2012 Aging and bone loss: new insights for the clinician. *Ther Adv Musculoskelet Dis* 4:61–76.
- Melton LJ, Atkinson EJ, O'Connor MK, O'Fallon WM, Riggs BL. 1998 Bone density and fracture risk in men. *J Bone Miner Res* 13:1915–1923.
- Chrischilles EA, Butler CD, Davis CS, Wallace RB. 1991 A model of lifetime osteoporosis impact. *Arch Intern Med* 151:2026–2032.
- Magaziner J, Lydick E, Hawkes W, Fox KM, Zimmerman SI, Epstein RS, et al. 1997 Excess mortality attributable to hip fracture in white women aged 70 years and older. *Am J Public Health* 87(10):1630–1636.
- Carter MI, Hinton PS. 2014 Physical Activity and Bone Health. *Mo Med* 111:59–64.
- Maalouf G, Salem S, Sandid M, Attallah P, Eid J, Saliba N, et al. 2000 Bone mineral density of the Lebanese reference population. *Osteoporos Int* 11(9):756–764.
- El Hage R, Jacob C, Moussa E, Jaffré C, Baddoura R. 2011 Bone mass in a group of Lebanese girls from Beirut and French girls from Orleans. *J Med Liban* 59:131–135.
- El Hage R, Jacob C, Moussa E, Jaffré C, Benhamou CL. 2009 Daily calcium intake and body mass index in a group of Lebanese adolescents. *J Med Liban* 57(4):253–257.
- Chakhtoura M, Rahme M, Chamoun N, El-Hajj Fuleihan G. 2018 Vitamin D in the middle east and North Africa. *Bone Rep* 8:135–146.
- Salamoun MM, Kizirian AS, Tannous RI, Nabulsi MM, Choucair MK, Deeb ME, et al. 2005 Low calcium and vitamin D intake in healthy children and adolescents and their correlates. *Eur J Clin Nutr* 59(2):177–184.
- Alwan A, Al Rassy N, Berro AJ, Rizkallah M, Matta J, Frenn F, et al. 2018 Vitamin D and trabecular bone score in a group of young Lebanese adults. *J Clin Densitom* 21(3):453–458.
- Abi Nader P, Majed L, Sayegh S, Mattar L, Hadla R, Chamieh MC, et al. 2019 First physical activity report card for children and youth in Lebanon. *J Phys Act Health* 16(6):385–396.
- Fazah A, Jacob C, Moussa E, El-Hage R, Youssef H, Delamarche P. 2010 Activity, inactivity and quality of life among Lebanese adolescents. *Pediatr Int* 52:573–578.
- Kohrt WM, Bloomfield SA, Little KD, Nelson ME, Yingling VR, American College of Sports Medicine. 2004 American college of sports medicine position stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc* 36:1985–1996.
- Ito IH, Kemper HCG, Agostinete RR, Lynch KR, Christofaro DGD, Ronque ER, et al. 2017 Impact of martial arts (Judo, Karate, and Kung Fu) on bone mineral density gains in adolescents of both genders: 9-month follow-up. *Pediatr Exerc Sci* 29(4):496–503.
- Ciaccioni S, Condello G, Guidotti F, Capranica L. 2019 Effects of judo training on bones: a systematic literature review. *J Strength Cond Res* 33(10):2882–2896.
- Missawi K, Zouch M, Chaari H, Chakroun Y, Tabka Z, Bouajina E. 2018 Judo practice in early age promotes high level of bone mass acquisition of growing boys' skeleton. *J Clin Densitom* 21(3):420–428.
- Nader S. 1996 Female judoists: their hormones, muscles, and bones. *Lancet* 347(9006):919–920.
- Nasri R, Hassen Zrouer S, Rebai H, Neffeti F, Najjar MF, Bergaoui N, et al. 2015 Combat sports practice favors bone mineral density among adolescent male athletes. *J Clin Densitom* 18(1):54–59.
- Ito IH, Mantovani AM, Agostinete RR, Costa Junior P, Zanuto EF, Christofaro DG, Ribeiro LP, Fernandes RA. 2016 Prática de artes marciais e densidade mineral óssea em adolescentes de ambos os sexos [Practice of martial arts and

- bone mineral density in adolescents of both sexes]. *Rev Paul Pediatr* 34(2):210–215.
34. Ito IH, Kemper HCG, Agostinete RR, et al. 2017 Impact of martial arts (judo, karate, and kung fu) on bone mineral density gains in adolescents of both genders: 9-month follow-up. *Pediatr Exerc Sci* 29(4):496–503.
 35. Cheng L, Chang S, He B, Yan Y. 2022 Effects of Tai Chi and brisk walking on the bone mineral density of perimenopausal women: a randomized controlled trial. *Front Public Health* 10:948890.
 36. Wu HY, Wang YR, Wen GW, Tang ZY, Yu YQ, Zhang JR, et al. 2020 Tai Chi on bone mineral density of postmenopausal osteoporosis: a protocol for systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 99(36):e21928.
 37. Zou L, Wang C, Chen K, Shu Y, Chen X, Luo L, Zhao X. 2017 The effect of taichi practice on attenuating bone mineral density loss: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Environ Res Public Health* 14(9):1000.
 38. Lui PP, Qin L, Chan KM. 2008 Tai Chi Chuan exercises in enhancing bone mineral density in active seniors. *Clin Sports Med* 27(1):75–86.
 39. Tsang TW, Kohn M, Chow CM, Singh MF. 2008 Health benefits of Kung Fu: a systematic review. *J Sports Sci* 26(12):1249–1267.
 40. Sun Z, Chen H, Berger MR, Zhang L, Guo H, Huang Y. 2016 Effects of tai chi exercise on bone health in perimenopausal and postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int* 27(10):2901–2911.
 41. Chan K, Qin L, Lau M, Woo J, Au S, Choy W, Lee K, Lee S. 2004 A randomized, prospective study of the effects of Tai Chi Chun exercise on bone mineral density in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil* 85(5):717–722.
 42. Chow TH, Lee BY, Ang ABF, Cheung VYK, Ho MMC, Takemura S. 2017 The effect of Chinese martial arts Tai Chi Chuan on prevention of osteoporosis: a systematic review. *J Orthop Translat* 12:74–84.
 43. Fong SSM, Chan JSM, Bae YH, Yam TTT, Chung LMY, Ma AWW, Kuisma R. 2017 Musculoskeletal profile of middle-aged Ving Tsun Chinese martial art practitioners: a cross-sectional study. *Medicine (Baltimore)* 96(4):e5961.
 44. Gass R. 2003 Tai Chi Chuan and bone loss in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil* 84(4):621. author reply 621–623.
 45. Jahnke R, Larkey L, Rogers C, Etnier J, Lin F. 2010 A comprehensive review of health benefits of qigong and tai chi. *Am J Health Promot* 24(6):e1–e25.
 46. Tsang TW, Kohn M, Chow CM, Singh MF. 2009 A randomized placebo-exercise controlled trial of Kung Fu training for improvements in body composition in overweight/obese adolescents: the "Martial Fitness" study. *J Sports Sci Med* 8(1):97–106.
 47. Tsang TW, Kohn MR, Chow CM, Fiatarone Singh MA. 2010 Kung fu training improves physical fitness measures in overweight/obese adolescents: the "martial fitness" study. *J Obes* 2010:672751.
 48. Hamasaki H. 2016 Martial arts and metabolic diseases. *Sports (Basel)* 4(2):28.
 49. de Souza F, Lanzendorf FN, de Souza MMM, Schuelter-Trevisol F, Trevisol DJ. 2020 Effectiveness of martial arts exercise on anthropometric and body composition parameters of overweight and obese subjects: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health* 20(1):1246.
 50. Eckstein ML, Schwarzingler M, Haupt S, et al. 2022 Physiological responses to combat sports in metabolic diseases: a systematic review. *J Clin Med* 11(4):1070.
 51. Jones MA, Unnithan VB. 1998 The cardiovascular responses of male subjects to kung fu techniques. Expert/novice paradigm. *J Sports Med Phys Fitness* 38(4):323–329.
 52. McAnulty S, McAnulty L, Collier S, Souza-Junior TP, McBride J. 2016 Tai Chi and Kung-Fu practice maintains physical performance but not vascular health in young versus old participants. *Phys Sportsmed* 44(2):184–189.
 53. World Health Organization. 2010 Global Recommendations on Physical Activity for Health. World Health Organization, 2010.
 54. Finianos B, Pinti A, El Hage R. 2023 The effects of a 1-year recreational football protocol on bone health parameters in a group of healthy inactive 50-year-old men. *J Clin Densitom* 26(2):101368.
 55. Ishii S, Cauley JA, Greendale GA, Danielson ME, Safaei Nili N, Karlamangla A. 2012 Ethnic differences in composite indices of femoral neck strength. *Osteoporos Int* 23(4):1381–1390.
 56. Yu N, Liu YJ, Pei Y, Zhang L, Lei S, Kothari NR, et al. 2010 Evaluation of compressive strength index of the femoral neck in Caucasians and Chinese. *Calcif Tissue Int* 87(4):324–332.
 57. Ayoub ML, Maalouf G, Bachour F, Barakat A, Cortet B, Legroux-Gérot I, et al. 2014 DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop Traumatol Surg Res* 100:855–858.
 58. Li GW, Chang SX, Xu Z, Chen Y, Bao H, Shi X. 2013 Prediction of hip osteoporotic fractures from composite indices of femoral neck strength. *Skeletal Radiol* 42(2):195–201.
 59. Maliha E, Pinti A, Bassim P, Toumi H, El Hage R. 2022 Composite indices of femoral neck strength in young adult male handball players. *J Clin Densitom* 25(4):637–640.
 60. Finianos B, Zunquin G, El Hage R. 2021 Composite indices of femoral neck strength in middle-aged inactive subjects vs former football players. *J Clin Densitom* 24:214–224.
 61. 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* 20:53–61.
 62. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ. 1991 Estimation of human power output from vertical jump. *J Strength Cond Res* 5:116.
 63. Léger LA, Lambert J. 1982 A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict $\dot{V}O_2$ max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 49(1):1–12.
 64. Baechle TR, Earle RW, eds. *Human kinetics*.
 65. Fardellone P, Sebert JL, Bouraya M, et al. 1991 Evaluation de la teneur en calcium du régime alimentaire par autoquestionnaire fréquentiel [Evaluation of the calcium content of diet by frequent self-questionnaire]. *Rev Rhum Mal Osteoartic* 58(2):99–103.
 66. 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. *Clin Nutr* 24(5):768–774.
 67. Buysse DJ, Reynolds CF 3rd, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. 1989 The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 28(2):193–213.
 68. Hallal PC, Victora CG. 2004 Reliability and validity of the international physical activity questionnaire (IPAQ). *Med Sci Sports Exerc* 36(3):556.

69. Weeks BK, Beck BR. 2008 The BPAQ: a bone-specific physical activity assessment instrument. *Osteoporos Int* 19 (11):1567–1577.
70. Gandek B, Ware JE, Aaronson NK, et al. 1998 Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: results from the IQOLA Project. International Quality of Life Assessment. *J Clin Epidemiol* 51(11):1171–1178.
71. Sawilowsky S. 2009 New effect size rules of thumb. *J Mod Appl Stat Method* 8(2):26.
72. O'Donoghue G, Blake C, Cunningham C, Lennon O, Perrotta C. 2021 What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis. *Obes Rev* 22(2):e13137.
73. Lopez P, Taaffe DR, Galvão DA, et al. 2022 Resistance training effectiveness on body composition and body weight outcomes in individuals with overweight and obesity across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 23(5):e13428.
74. Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, et al. 2022 Moderators of resistance training effects in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 54(11):1804–1816.
75. El Hage R, Zakhem E, Gautier Z, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. 2013 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.
76. Santos L, Elliott-Sale KJ, Sale C. 2017 Exercise and bone health across the lifespan. *Biogerontology* 18:931–946.
77. Agostinete RR, Fernandes RA, Narciso PH, Maillane-Vanegas S, Werneck AO, Vlachopoulos D. 2020 Categorizing 10 sports according to bone and soft tissue profiles in adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 52(12):2673–2681.

Discussion générale

Le but principal de cette thèse était d'explorer les effets d'un entraînement de Kung Fu récréatif d'un an sur les paramètres osseux (CMO, DMO, indices géométriques de la hanche, indices de résistance osseuse du col fémoral et score de l'os trabéculaire) chez un groupe de jeunes hommes inactifs. Le but secondaire de la thèse était d'explorer les effets de cette intervention sur les paramètres de performance physique, les bilans lipidiques et glucidiques ainsi que la qualité de vie dans la population étudiée.

L'étude principale 1 avait pour objectif d'étudier les relations entre la force relative des membres inférieurs et les indices de résistance osseuse du col fémoral (indice de résistance à la compression [CSI], indice de résistance à la flexion [BSI] et indice de résistance aux chocs [ISI]) chez un groupe de jeunes hommes inactifs.

Nos résultats renforcent ceux de deux études précédentes qui ont montré que les indices de puissance relative sont positivement corrélés aux indices de résistance osseuse du col fémoral chez l'adulte jeune (Khawaja et coll. 2021 ; Watson et coll. 2018). Cependant, dans notre étude, les corrélations entre la force relative des membres inférieurs et les indices de résistance osseuse du col fémoral étaient relativement faibles. Par conséquent, il existe plusieurs autres facteurs déterminants du CSI, du BSI et de l'ISI qui doivent être définis dans les deux sexes. La présente étude a révélé des corrélations négatives entre la force musculaire relative des membres inférieurs et plusieurs paramètres de santé tels que le pourcentage de masse grasse, la glycémie et les triglycérides sanguins. Ces résultats suggèrent que l'augmentation de la force musculaire relative des membres inférieurs pourrait aider à prévenir l'apparition du syndrome métabolique. Nos résultats sont en accord avec ceux d'une autre étude (Myers et coll. 2019). Nos résultats semblent logiques puisqu'il a été démontré que la pratique régulière d'un entraînement en résistance offre aussi une protection contre les maladies cardiovasculaires (Ho et coll. 2012). Ces résultats sont cliniquement importants étant donné l'incidence des maladies cardiovasculaires, connue pour être plus élevée chez les hommes que chez les femmes. L'étude actuelle présente plusieurs limites, notamment sa conception transversale, le nombre relativement faible de sujets recrutés et l'absence d'inclusion d'un groupe féminin. En conclusion, cette étude suggère que la force musculaire relative des membres inférieurs est positivement corrélée aux indices de résistance osseuse du col fémoral chez les hommes jeunes. À notre connaissance, il s'agit de la première étude à démontrer des corrélations positives entre la force relative des membres inférieurs et les

indices de résistance osseuse du col fémoral. La mise en œuvre de stratégies pour augmenter le rapport force maximale en demi-squat/poids corporel est importante pour prévenir les fractures ostéoporotiques plus tard dans la vie. Les programmes d'entraînement physique doivent être adaptés en conséquence. De futures études longitudinales semblent obligatoires pour confirmer les relations causales entre la force relative des membres inférieurs et les indices de résistance osseuse du col fémoral dans les deux sexes.

L'étude principale 2 montre principalement qu'une intervention de Kung Fu récréatif d'un an améliore le CMO CE, la DMO de l'avant-bras et les paramètres de performance physique. De plus, des effets positifs sur le profil lipidique sanguin, le contrôle glycémique, la pression artérielle et la qualité de vie ont été notés dans le groupe Kung Fu. En réponse à l'entraînement, la force maximale, la VO₂ max, les performances en sprint et en détente ont augmenté dans le groupe Kung Fu mais pas dans le groupe témoin. Ce résultat était très évident dans les différentes analyses statistiques utilisées dans cette étude. Ainsi, 2 séances d'entraînement récréatif de Kung Fu par semaine réalisées sur un an semblent suffisantes pour améliorer les performances physiques des jeunes hommes inactifs. En parallèle, l'intervention a induit des diminutions significatives de la glycémie, du cholestérol total, du LDL-cholestérol et de la pression artérielle systolique dans le groupe Kung Fu soulignant les avantages pour la santé de cette intervention d'un an. De futures études seront nécessaires pour évaluer l'impact de l'entraînement au Kung Fu sur les paramètres de santé chez les sujets atteints de syndrome métabolique. Bien que l'intervention n'ait pas été suffisante pour diminuer la graisse corporelle ni augmenter la masse maigre, les variables liées à la qualité de vie (PCS et MCS) ont été améliorées dans le groupe pratiquant le Kung Fu soulignant l'importance de cette intervention. Des études récentes suggèrent que l'entraînement combiné en force et en endurance est l'entraînement le plus efficace pour réduire la graisse corporelle (Paoli et coll. 2021), tandis que l'entraînement en résistance est le plus efficace pour augmenter la masse maigre (Paillard et coll. 2022). Des améliorations significatives des paramètres de santé osseuse ont également été détectées dans le groupe Kung Fu ; les plus grandes tailles d'effet ont été démontrées pour la DMO de l'avant-bras, soulignant le fait que la DMO de l'avant-bras a très bien répondu à ce protocole d'entraînement. Ce résultat semble logique puisque la majorité des exercices utilisés dans le protocole d'entraînement ciblaient cette région soulignant l'importance du principe de spécificité qui stipule que "seuls les sites squelettiques exposés à un changement des contraintes mécaniques quotidiennes subissent une adaptation" (Robling et Turner, 2009). En parallèle, des études antérieures ont montré des améliorations significatives de la DMO de la hanche et du rachis lombaire en réponse aux

protocoles d'entraînement des sports d'équipe tels que le volley-ball, le basket-ball et le football (El Hage et coll. 2013 ; Agostinete et coll. 2020). Fait intéressant, les scores de charge osseuse de la hanche et de la colonne vertébrale sont inférieurs en Kung Fu par rapport au volley-ball, au basket-ball, au football et à la gymnastique (Bellver et coll. 2019 ; Agostinete et coll. 2020). Ce dernier pourrait expliquer l'absence d'améliorations significatives de la DMO de la hanche et du rachis lombaire dans le groupe Kung Fu de l'étude actuelle.

L'étude longitudinale actuelle présente plusieurs points forts importants, notamment la longue durée de l'entraînement, le nombre important de paramètres de santé osseuse mesurés et le nombre total de paramètres inclus. De plus, à notre connaissance, il s'agit de la première étude à démontrer des effets positifs clairs d'un protocole de Kung Fu récréatif d'un an sur les paramètres de santé osseuse dans un groupe de jeunes hommes inactifs. De futures études seront nécessaires afin de vérifier si la réponse osseuse à une telle intervention est similaire chez les jeunes femmes inactives et si la pratique du Kung Fu peut avoir un effet positif sur la DMO et le risque de fracture chez les sujets ostéoporotiques/ostéopéniques. La pratique du Kung Fu semble avoir un rôle important dans la prévention de l'ostéoporose, en particulier au niveau de l'avant-bras. Les professionnels de santé devraient tenir compte de nos résultats lors de la conception de programmes d'entraînement physique visant à prévenir l'ostéoporose. L'étude actuelle montre que l'entraînement au Kung Fu augmente la DMO de l'avant-bras et les paramètres de performance physique, améliore le profil lipidique sanguin et la pression artérielle et améliore la qualité de vie des jeunes hommes inactifs.

Par conséquent, cette thèse montre que l'entraînement au Kung Fu améliore le CMO du corps entier, la DMO de l'avant-bras, les paramètres de performance physique et la qualité de vie chez les jeunes hommes inactifs.

Toutefois, cette thèse a de nombreuses limites. Premièrement, l'étude a été menée pendant la crise du Covid-19 qui a eu un impact négatif sur le processus de recrutement ; ainsi, le nombre de participants était relativement faible. Deuxièmement, le nombre de séances d'entraînement par semaine était relativement faible ; cela peut expliquer l'absence de différences significatives au niveau de la masse grasse et de la masse maigre dans le groupe expérimental. Troisièmement, nous n'avons pas pu évaluer plusieurs déterminants importants de la santé osseuse tels que les hormones sexuelles, l'hormone de croissance, le facteur de croissance analogue à l'insuline-1 (IGF-1) et l'apport calorique quotidien. Enfin, seule la DXA a été utilisée pour évaluer les paramètres de santé osseuse. Cependant, l'étude longitudinale actuelle présente plusieurs points forts importants, notamment la longue durée de

l'entraînement, le nombre important de paramètres de santé osseuse mesurés et le nombre total de paramètres inclus. De plus, à notre connaissance, il s'agit de la première étude ayant démontré des effets positifs clairs d'un protocole de Kung Fu récréatif d'un an sur les paramètres de santé osseuse dans un groupe de jeunes hommes inactifs. De futures études seront nécessaires pour vérifier si la réponse osseuse à une telle intervention est similaire chez les jeunes femmes inactives et si la pratique du Kung Fu peut avoir un effet positif sur la DMO et le risque de fracture chez les sujets ostéoporotiques/ostéopéniques. La pratique du Kung Fu semble avoir un rôle important dans la prévention de l'ostéoporose en particulier au niveau de l'avant-bras. Les professionnels de la santé devraient tenir compte de nos résultats lors de la conception de programmes d'entraînement physique visant à prévenir l'ostéoporose.

Conclusions et perspectives

Cette étude menée chez des jeunes hommes inactifs montre principalement que l'entraînement au Kung Fu récréatif d'un an augmente le CMO CE, la DMO de l'avant-bras, les paramètres de performance physique (force maximale, détentes, vitesse et consommation maximale d'oxygène), améliore le profil lipidique sanguin (diminution du LDL-C, du cholestérol total et des triglycérides) et la qualité de vie, et réduit la pression artérielle.

D'autre part, les analyses de corrélations menées sur la même population ont montré que le rapport force maximale en demi-squat/poids corporel est positivement corrélé au CSI, au BSI, à l'ISI mais négativement corrélé au pourcentage de masse grasse.

Aux vues des résultats obtenus dans nos travaux, il serait intéressant de proposer plusieurs perspectives de recherche.

- Premièrement, il serait raisonnable d'explorer les effets d'une intervention similaire chez jeunes femmes inactives afin de comparer la réponse osseuse au Kung Fu en fonction du sexe.
- Deuxièmement, il serait cliniquement important d'explorer les effets de l'entraînement au Kung Fu sur des populations particulières ayant des pathologies et/ou des désordres comme l'ostéoporose, l'ostéopénie, la sarcopénie et le syndrome de fragilité.
- Troisièmement, il serait logique d'étudier les effets résiduels de l'entraînement au Kung Fu sur les paramètres osseux à travers des études rétrospectives.
- Dernièrement, il serait cohérent de rédiger une méta analyse et une revue systématique ayant pour objectifs d'explorer les effets du Kung Fu sur les paramètres osseux.

Bibliographie

Abi Nader, P., Majed, L., Sayegh, S., Mattar, L., Hadla, R., Chamieh, M. C., Habib Mourad, C., Fares, E. J., Hawa, Z., & Bélanger, M. (2019). First Physical Activity Report Card for Children and Youth in Lebanon. *Journal of physical activity & health*, 16(6), 385–396.

Abidin, M. A. H., Ooi, F. K., & Chen, C. K. (2018). Physiological profiles and bone health status of Malay adolescent male boxing, Muay Thai and silat athletes. *Sport Sciences for Health*, 14, 673-683.

Adler, R. A. (2012). Laboratory testing for secondary osteoporosis evaluation. *Clinical biochemistry*, 45(12), 894-900.

Afzalpour, M. E., Kaviani Najafabadi, R., & Ehsanbakhsh, A. R. (2013). The comparison of the bone mineral density and content between dominant & nondominant limb in elite males Karate practitioners of southern Khorasan. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, 1(1), 44-57.

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

Agostinete, R. R., Lynch, K. R., Gobbo, L. A., Lima, M. C., Ito, I. H., Luiz-de-Marco, R., Rodrigues-Junior, M. A., & Fernandes, R. A. (2016). Basketball Affects Bone Mineral Density Accrual in Boys More Than Swimming and Other Impact Sports: 9-mo Follow-Up. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 19(3), 375–381.

Agostinete, R. R., Vlachopoulos, D., Werneck, A. O., Maillane-Vanegas, S., Lynch, K. R., Naughton, G., & Fernandes, R. A. (2020). Bone accrual over 18 months of participation in different loading sports during adolescence. *Archives of osteoporosis*, 15(1), 64.

Ainsworth, B. E., Shaw, J. M., & Hueglin, S. (2002). Methodology of activity surveys to estimate mechanical loading on bones in humans. *Bone*, 30(5), 787–791.

Alonso-Coello, P., García-Franco, A. L., Guyatt, G., & Moynihan, R. (2008). Drugs for pre-osteoporosis: prevention or disease mongering? *BmJ*, 336(7636), 126-129.

An, T., Hao, J., Sun, S., Li, R., Yang, M., Cheng, G., & Zou, M. (2017). Efficacy of statins for osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 28(1), 47-57.

Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. (1994). World Health Organization technical report series, 843, 1–129.

Autier, P., Haentjens, P., Bentin, J., Baillon, J. M., Grivegnée, A. R., Closon, M. C., & Boonen, S. (2000). Costs induced by hip fractures: a prospective controlled study in Belgium. Belgian Hip Fracture Study Group. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 11(5), 373–380.

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

Banu, J. (2013). Causes, consequences, and treatment of osteoporosis in men. *Drug design, development and therapy*, 7, 849.

Barbeta, C. J. O., Gonçalves, E. M., Ribeiro, K. D. S., Ribeiro, R., Roman, E. P., & Guerra-Júnior, G. (2017). BONE MASS BY QUANTITATIVE ULTRASOUND OF FINGER PHALANGES IN YOUNG KARATE PRACTITIONERS. MASSA ÓSSEA POR ULTRASSONOGRRAFIA QUANTITATIVA DE FALANGES EM JOVENS PRATICANTES DE KARATÊ. *Revista paulista de pediatria : orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 35(4), 436–442.

Bellver, M., Del Rio, L., Jovell, E., Drobnic, F., & Trilla, A. (2019). Bone mineral density and bone mineral content among female elite athletes. *Bone*, 127, 393–400.

Bianchi, M. L., Orsini, M. R., Saraifoger, S., Ortolani, S., Radaelli, G., & Betti, S. (2005). Quality of life in post-menopausal osteoporosis. *Health and quality of life outcomes*, 3(1), 1-7.

Bolam, K. A., Skinner, T. L., Sax, A. T., Adlard, K. N., & Taaffe, D. R. (2016). A Comparison of Bone Mineral Density in Amateur Male Boxers and Active Non-boxers. *International journal of sports medicine*, 37(9), 694–699.

Bonjour, J. P. (2011). Calcium and phosphate: a duet of ions playing for bone health. *Journal of the American College of Nutrition*, 30(sup5), 438S-448S.

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.

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, s5-s17.

Bonjour, J. P., Theintz, G., Law, F., Slosman, D., & Rizzoli, R. (1994). Peak bone mass. *Osteoporosis international*, 4(1), S7-S13.

Boreham, C. A., & McKay, H. A. (2011). Physical activity in childhood and bone health. *British journal of sports medicine*, 45(11), 877-879.

Bouxsein, M. L. (2013). Overview of bone structure and strength. *Genetics of bone biology and skeletal disease*, 197-208.

Burr, D. B. (2002). The contribution of the organic matrix to bone's material properties. *Bone*, 31(1), 8-11.

Campion, J. M., & Maricic, M. J. (2003). Osteoporosis in men. *American family physician*, 67(7), 1521-1526.

Carter, M. I., & Hinton, P. S. (2014). Physical activity and bone health. *Missouri medicine*, 111(1), 59–64.

Center, J. R., Nguyen, T. V., Schneider, D., Sambrook, P. N., & Eisman, J. A. (1999). Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: an observational study. *Lancet (London, England)*, 353(9156), 878–882.

Cheng, L., & Ba, H. (2020). Effect of Tai Chi exercise with the same frequency and different exercise duration on the bone mineral density of older women. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 60(10), 1396–1400.

Cheng, L., Chang, S., He, B., & Yan, Y. (2022). Effects of Tai Chi and brisk walking on the bone mineral density of perimenopausal women: A randomized controlled trial. *Frontiers in public health*, 10, 948890.

- Chow, T. H., Lee, B. Y., Ang, A. B. F., Cheung, V. Y. K., Ho, M. M. C., & Takemura, S. (2018). The effect of Chinese martial arts Tai Chi Chuan on prevention of osteoporosis: A systematic review. *Journal of orthopaedic translation*, 12, 74-84.
- Ciaccioni, S., Condello, G., Guidotti, F., & Capranica, L. (2019). Effects of Judo Training on Bones: A Systematic Literature Review. *Journal of strength and conditioning research*, 33(10), 2882–2896.
- Clarke, J. A., Jung, H. C., Kang, H. J., Seo, M. W., & Song, J. K. (2016). Taekwondo Training Has Long-term Beneficial Effects on Bone Mineral Density and Physical Fitness in Middle-Aged Men. *Acta Taekwondo et Martialis Artium (JIATR)*, 3(2), 8-16.
- Costa, P., Franchini, E., Ciccotti Saraiva, B. T., Gobbo, L. A., Casonatto, J., Fernandes, R. A., & Christofaro, D. G. (2018). Effect of grappling and striking combat sports on pre-adolescent bone mineral. *Medicina Dello Sport*, 65-74.
- Cramer, J. A., Gold, D. T., Silverman, S. L., & Lewiecki, E. M. (2007). A systematic review of persistence and compliance with bisphosphonates for osteoporosis. *Osteoporosis International*, 18(8), 1023-1031.
- Cree, M., Soskolne, C. L., Belseck, E., Hornig, J., McElhaney, J. E., Brant, R., & Suarez-Almazor, M. (2000). Mortality and institutionalization following hip fracture. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(3), 283–288.
- Cui, H., Wang, Z., Wu, J., Liu, Y., Zheng, J., Xiao, W., He, P., Zhou, Y., Wang, J., Yu, P., Zhang, C., Wu, J., & Geriatrics Branch of the Chinese Medical Association (2023). Chinese expert consensus on prevention and intervention for elderly with sarcopenia (2023). *Aging medicine (Milton (N.S.W))*, 6(2), 104–115.
- Deng, C., & Xia, W. (2018). Effect of Tai Chi Chuan on degeneration of lumbar vertebrae and lumbar discs in middle-aged and aged people: a cross-sectional study based on magnetic resonance images. *The Journal of international medical research*, 46(2), 578–585.
- Dolan, E., Crabtree, N., McGoldrick, A., Ashley, D. T., McCaffrey, N., & Warrington, G. D. (2012). Weight regulation and bone mass: a comparison between professional jockeys, elite amateur boxers, and age, gender and BMI matched controls. *Journal of bone and mineral metabolism*, 30(2), 164–170.

- Dolan, S. H., Williams, D. P., Ainsworth, B. E., & Shaw, J. M. (2006). Development and reproducibility of the bone loading history questionnaire. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(6), 1121–1131.
- Ebeling, P. R. (2008). Osteoporosis in men. *New England Journal of Medicine*, 358(14), 1474-1482.
- Ehrlich, P. J., & Lanyon, L. E. (2002). Mechanical strain and bone cell function: a review. *Osteoporosis international*, 13(9), 688.
- El Hage, R., El Hage, Z., Moussa, E., Jacob, C., Zunquin, G., & Theunynck, D. (2013). Geometric indices of hip bone strength in obese, overweight, and normal-weight adolescent girls. *Journal of Clinical Densitometry*, 16(3), 313-319.
- El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Jaffré, C., & Baddoura, R. (2011). Bone mass in a group of Lebanese girls from Beirut and French girls from Orleans. *Le Journal medical libanais. The Lebanese medical journal*, 59(3), 131–135.
- El Hage, R., Jacob, C., Moussa, E., Jaffré, C., & Benhamou, C. L. (2009). Daily calcium intake and body mass index in a group of Lebanese adolescents. *Le Journal Medical Libanais. The Lebanese Medical Journal*, 57(4), 253-257.
- Eui-sik, K., & Ju-sik, P. (2018). Effects of Qigong Training on Body Composition, Fitness and Bone Mineral Density in the Elderly. *International Journal of Martial Arts*, 3(1), 20-27.
- 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.
- Fazah, A., Jacob, C., Moussa, E., El-Hage, R., Youssef, H., & Delamarche, P. (2010). Activity, inactivity and quality of life among Lebanese adolescents. *Pediatrics international : official journal of the Japan Pediatric Society*, 52(4), 573–578.
- 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.

Fong, S. S., Ng, S. S., Liu, K. P., Pang, M. Y., Lee, H. W., Chung, J. W., Lam, P. L., & Guo, X. (2014). Musculoskeletal strength, balance performance, and self-efficacy in elderly vinyasa yoga practitioners: implications for fall prevention. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2014, 402314.

Forwood, M. R., & Turner, C. H. (1995). Skeletal adaptations to mechanical usage: results from tibial loading studies in rats. *Bone*, 17(4), S197-S205.

Frost, H. M. (1994). Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *The Angle Orthodontist*, 64(3), 175-188.

Gafni, R. I., & Baron, J. (2007). Childhood bone mass acquisition and peak bone mass may not be important determinants of bone mass in late adulthood. *Pediatrics*, 119(Supplement 2), S131-S136.

Gandek, B., Ware, J. E., Aaronson, N. K., Apolone, G., Bjorner, J. B., Brazier, J. E., Bullinger, M., Kaasa, S., Lepelge, A., Prieto, L., & Sullivan, M. (1998). Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment. Journal of clinical epidemiology*, 51(11), 1171–1178.

García-Gómez, M. C., & Vilahur, G. (2020). Osteoporosis and vascular calcification: A shared scenario. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis (English Edition)*, 32(1), 32-41.

Gass R. (2003). Tai Chi Chuan and bone loss in postmenopausal women. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84(4), 621–623.

Gennari, L., & Bilezikian, J. P. (2007). Osteoporosis in men. *Endocrinology and metabolism clinics of North America*, 36(2), 399-419.

Ghazzawi, H. A., Amawi, A. T., Alduraidi, H., Juweid, M., Alhawari, H. H., Al-Abbadi, M. A., Alabbadi, A. M., & AlNemer, L. S. S. (2023). The Preventable Effect of Taekwondo Sport among Cadets and Junior' Bone Mineral Density: DEXA Assessment. *Children (Basel, Switzerland)*, 10(1), 170.

Goldstein, C. L., Brodke, D. S., & Choma, T. J. (2015). Surgical management of spinal conditions in the elderly osteoporotic spine. *Neurosurgery*, 77, S98-S107.

González-Macías, J., del Pino-Montes, J., Olmos, J. M., & Nogues, X. (2015). Clinical practice guidelines for postmenopausal, glucocorticoid-induced and male osteoporosis. Spanish Society for Research on Bone and Mineral Metabolism (3rd updated version 2014). *Revista Clínica Española (English Edition)*, 215(9), 515-526.

Gordon, C. M., Zemel, B. S., Wren, T. A., Leonard, M. B., Bachrach, L. K., Rauch, F., Gilsanz, V., Rosen, C. J., & Winer, K. K. (2017). The Determinants of Peak Bone Mass. *The Journal of pediatrics*, 180, 261–269.

Groothausen, J., Siemer, H., Kemper, H. C., Twisk, J., & Welten, D. C. (1997). Influence of peak strain on lumbar bone mineral density: an analysis of 15-year physical activity in young males and females. *Pediatric Exercise Science*, 9(2), 159-173.

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

Guzman, J. Z., Feldman, Z. M., McAnany, S., Hecht, A. C., Qureshi, S. A., & Cho, S. K. (2016). Osteoporosis in Cervical Spine Surgery. *Spine*, 41(8), 662–668.

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

Hagino, H. (2014). Revised osteoporosis diagnostic criteria and Japanese practice guideline on osteoporosis. *Clinical calcium*, 24(1), 11-18.

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

Heaney, R. P., McCarron, D. A., Dawson-Hughes, B., Oparil, S., Berga, S. L., Stern, J. S., Barr, S. I., & Rosen, C. J. (1999). Dietary changes favorably affect bone remodeling in older adults. *Journal of the American Dietetic Association*, 99(10), 1228–1233.

Hiligsmann, M., Bours, S. P., & Boonen, A. (2015). A review of patient preferences for osteoporosis drug treatment. *Current rheumatology reports*, 17(9), 1-10.

Ho, S. S., Dhaliwal, S. S., Hills, A. P., & Pal, S. (2012). The effect of 12 weeks of aerobic, resistance or combination exercise training on cardiovascular risk factors in the overweight and obese in a randomized trial. *BMC public health*, 12, 704.

Hui, S. S., Xie, Y. J., Woo, J., & Kwok, T. C. (2015). Effects of Tai Chi and Walking Exercises on Weight Loss, Metabolic Syndrome Parameters, and Bone Mineral Density: A Cluster Randomized Controlled Trial. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2015, 976123.

Huiskes, R., Ruimerman, R., Van Lenthe, G. H., & Janssen, J. D. (2000). Effects of mechanical forces on maintenance and adaptation of form in trabecular bone. *Nature*, 405(6787), 704-706.

Inderjeeth, C. A., Chan, K., Kwan, K., & Lai, M. (2012). Time to onset of efficacy in fracture reduction with current anti-osteoporosis treatments. *Journal of bone and mineral metabolism*, 30(5), 493-503.

International Osteoporosis Foundation (2018). *Broken bones, broken lives: a roadmap to solve the fragility fracture crisis in europe*.

Ito, I. H., Kemper, H. C. G., Agostinete, R. R., Lynch, K. R., Christofaro, D. G. D., Ronque, E. R., & Fernandes, R. A. (2017). Impact of Martial Arts (Judo, Karate, and Kung Fu) on Bone Mineral Density Gains in Adolescents of Both Genders: 9-Month Follow-Up. *Pediatric exercise science*, 29(4), 496–503.

Ito, I. H., Mantovani, A. M., Agostinete, R. R., Costa Junior, P., Zanuto, E. F., Christofaro, D. G., Ribeiro, L. P., & Fernandes, R. A. (2016). Prática de artes marciais e densidade mineral óssea em adolescentes de ambos os sexos [Practice of martial arts and bone mineral density in adolescents of both sexes]. *Revista paulista de pediatria : orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 34(2), 210–215.

- Jahnke, R., Larkey, L., Rogers, C., Etnier, J., & Lin, F. (2010). A comprehensive review of health benefits of qigong and tai chi. *American journal of health promotion: AJHP*, 24(6), e1–e25.
- Jeon, M., Jeon, A., & Lee, J. H. (2020). Differences in body composition of upper and lower limbs in elite taekwondo athletes. *Int. j. morphol*, 38(2), 265-72.
- Johnell, O., & Kanis, J. A. (2006). An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 17(12), 1726–1733.
- Jung, H. C., & Song, J. K. (2018). Decreased abdominal fat and improved bone metabolism after taekwondo training in obese adolescents. *Kinesiology*, 50(1), 79-88.
- Kanis, J. A., Adams, J., Borgström, F., Cooper, C., Jönsson, B., Preedy, D., Selby, P., & Compston, J. (2008). The cost-effectiveness of alendronate in the management of osteoporosis. *Bone*, 42(1), 4–15.
- Kanis, J. A., Norton, N., Harvey, N. C., Jacobson, T., Johansson, H., Lorentzon, M., McCloskey, E. V., Willers, C., & Borgström, F. (2021). SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Archives of osteoporosis*, 16(1), 82.
- Kanis, J. A., Oden, A., Johnell, O., De Laet, C., Jonsson, B., & Oglesby, A. K. (2003). The components of excess mortality after hip fracture. *Bone*, 32(5), 468–473.
- Kannus, P., Haapasalo, H., Sankelo, M., Sievänen, H., Pasanen, M., Heinonen, A., Oja, P., & Vuori, I. (1995). Effect of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players. *Annals of internal medicine*, 123(1), 27–31.
- Karlamangla, A. S., Barrett-Connor, E., Young, J., & Greendale, G. A. (2004). Hip fracture risk assessment using composite indices of femoral neck strength: the Rancho Bernardo study. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 15(1), 62–70.
- Karlsson, M. K., & Rosengren, B. E. (2020). Exercise and peak bone mass. *Current osteoporosis reports*, 18(3), 285-290.

Keene, G. S., Parker, M. J., & Pryor, G. A. (1993). Mortality and morbidity after hip fractures. *BMJ (Clinical research ed.)*, 307(6914), 1248–1250.

Kemper, H. C., Bakker, I., Twisk, J. W., & van Mechelen, W. (2002). Validation of a physical activity questionnaire to measure the effect of mechanical strain on bone mass. *Bone*, 30(5), 799–804.

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.

Khosla, S., Amin, S., & Orwoll, E. (2008). Osteoporosis in men. *Endocrine reviews*, 29(4), 441-464.

Kiebzak, G. M., Beinart, G. A., Perser, K., Ambrose, C. G., Siff, S. J., & Heggeness, M. H. (2002). Undertreatment of osteoporosis in men with hip fracture. *Archives of internal medicine*, 162(19), 2217–2222.

Kim, P. S., Shin, Y. H., Noh, S. K., Jung, H. L., Lee, C. D., & Kang, H. Y. (2013). Beneficial effects of judo training on bone mineral density of high-school boys in Korea. *Biology of sport*, 30(4), 295–299.

Klotzbuecher, C. M., Ross, P. D., Landsman, P. B., Abbott, T. A., 3rd, & Berger, M. (2000). Patients with prior fractures have an increased risk of future fractures: a summary of the literature and statistical synthesis. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 15(4), 721–739.

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.

Kulenović, I., Rašić, S., & Kulenović, E. (2006). Osteoporosis current trends in diagnosis and management. *Bosnian journal of basic medical sciences*, 6(1), 24.

Lambert, C., Beck, B. R., Harding, A. T., Watson, S. L., & Weeks, B. K. (2017). A protocol for a randomised controlled trial of the bone response to impact loading or resistance training

in young women with lower than average bone mass: the OPTIMA-Ex trial. *BMJ open*, 7(9), e016983.

Lanyon, L. E. (1996). Using functional loading to influence bone mass and architecture: objectives, mechanisms, and relationship with estrogen of the mechanically adaptive process in bone. *Bone*, 18(1), S37-S43.

Lee, M. S., Pittler, M. H., & Ernst, E. (2008). Tai chi for osteoarthritis: a systematic review. *Clinical rheumatology*, 27, 211-218.

Léger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 49(1), 1–12.

Lin, Y. A., Chen, L. H., Chen, F. P., Wong, A. M., Hsu, C. C., & Chen, J. Y. (2022). The Effectiveness of a Group Kickboxing Training Program on Sarcopenia and Osteoporosis Parameters in Community-Dwelling Adults Aged 50-85 Years. *Frontiers in medicine*, 9, 815342.

Liu, F., & Wang, S. (2017). Effect of Tai Chi on bone mineral density in postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis of randomized control trials. *Journal of the Chinese Medical Association*, 80(12), 790-795.

Maalouf, G., Salem, S., Sandid, M., Attallah, P., Eid, J., Saliba, N., Nehmé, I., & Johnell, O. (2000). Bone mineral density of the Lebanese reference population. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 11(9), 756–764.

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

Madeo, B., Zirilli, L., Caffagni, G., Diazzi, C., Sanguanini, A., Pignatti, E., Carani, C., & Rochira, V. (2007). The osteoporotic male: overlooked and undermanaged? *Clinical interventions in aging*, 2(3), 305–312.

Magaziner, J., Lydick, E., Hawkes, W., Fox, K. M., Zimmerman, S. I., Epstein, R. S., & Hebel, J. R. (1997). Excess mortality attributable to hip fracture in white women aged 70 years and older. *American journal of public health*, 87(10), 1630–1636.

- Massini, D. A., de Souza Martins, N. D., de Oliveira, T. P., Macedo, A. G., Castro, E. A., Almeida, T. A. F., Santos, F. J., Espada, M. C., & Pessôa Filho, D. M. (2023). The effect of the exercise environment and the level of involvement on bone mineral health. *Journal of bone and mineral metabolism*, 41(1), 113–123.
- McAnulty, S., McAnulty, L., Collier, S., Souza-Junior, T. P., & McBride, J. (2016). Tai Chi and Kung-Fu practice maintains physical performance but not vascular health in young versus old participants. *The Physician and sportsmedicine*, 44(2), 184–189.
- McDonnell, P., McHugh, P. E., & O'Mahoney, D. (2007). Vertebral osteoporosis and trabecular bone quality. *Annals of biomedical engineering*, 35(2), 170–189.
- Melton, L. J., 3rd, Atkinson, E. J., Cooper, C., O'Fallon, W. M., & Riggs, B. L. (1999). Vertebral fractures predict subsequent fractures. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 10(3), 214–221.
- Missawi, K., Zouch, M., Chaari, H., Chakroun, Y., Tabka, Z., & Bouajina, E. (2018). Judo Practice in Early Age Promotes High Level of Bone Mass Acquisition of Growing Boys' Skeleton. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 21(3), 420–428.
- Mohd-Tahir, N. A., & Li, S. C. (2017). Economic burden of osteoporosis-related hip fracture in Asia: a systematic review. *Osteoporosis International*, 28(7), 2035-2044.
- Moraes, M. S., Martins, P. C., Ferreira, F. E., & Silva, D. A. (2022). Comparison of bone mineral density and bone mineral content in university athletes from different sports. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 62(5), 654–660.
- Mosley, J. R., & Lanyon, L. E. (1998). Strain rate as a controlling influence on adaptive modeling in response to dynamic loading of the ulna in growing male rats. *Bone*, 23(4), 313-318.
- Myers, J., Kokkinos, P., & Nyelin, E. (2019). Physical Activity, Cardiorespiratory Fitness, and the Metabolic Syndrome. *Nutrients*, 11(7), 1652.
- NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy (2001). Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA*, 285(6), 785–795.

Nishizawa, Y., Miura, M., Ichimura, S., Inaba, M., Imanishi, Y., Shiraki, M., Takada, J., Chaki, O., Hagino, H., Fukunaga, M., Fujiwara, S., Miki, T., Yoshimura, N., Ohta, H., & from the Japan Osteoporosis Society Bone Turnover Marker Investigation Committee (2019). Executive summary of the Japan Osteoporosis Society Guide for the Use of Bone Turnover Markers in the Diagnosis and Treatment of Osteoporosis (2018 Edition). *Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry*, 498, 101–107.

Oden, A., McCloskey, E. V., Kanis, J. A., Harvey, N. C., & Johansson, H. (2015). Burden of high fracture probability worldwide: secular increases 2010–2040. *Osteoporosis International*, 26, 2243–2248.

Paillard, T., El Hage, R., Rassy, N. A., Zouhal, H., Kaabi, S., & Passelergue, P. (2022). Effects of Different Levels of Weightlifting Training on Bone Mineral Density in a Group of Adolescents. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 25(4), 497–505.

Paoli, A., Casolo, A., Saoncella, M., Bertaggia, C., Fantin, M., Bianco, A., Marcolin, G., & Moro, T. (2021). Effect of an Endurance and Strength Mixed Circuit Training on Regional Fat Thickness: The Quest for the "Spot Reduction". *International journal of environmental research and public health*, 18(7), 3845.

Pouresmaeili, F., Kamalidehghan, B., Kamarehei, M., & Goh, Y. M. (2018). A comprehensive overview on osteoporosis and its risk factors. *Therapeutics and clinical risk management*, 14, 2029–2049.

Qin, L., Au, S., Choy, W., Leung, P., Neff, M., Lee, K., Lau, M., Woo, J., & Chan, K. (2002). Regular Tai Chi Chuan exercise may retard bone loss in postmenopausal women: A case-control study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 83(10), 1355–1359.

Reginster, J. Y., Bianic, F., Campbell, R., Martin, M., Williams, S. A., & Fitzpatrick, L. A. (2019). Abaloparatide for risk reduction of nonvertebral and vertebral fractures in postmenopausal women with osteoporosis: a network meta-analysis. *Osteoporosis International*, 30(7), 1465–1473.

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.

- Robling, A. G., & Turner, C. H. (2009). Mechanical signaling for bone modeling and remodeling. *Critical reviews in eukaryotic gene expression*, 19(4), 319–338.
- Sabo, D., Bernd, L., Pfeil, J., & Reiter, A. (1996). Bone quality in the lumbar spine in high-performance athletes. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 5(4), 258–263.
- Schmitt, N. M., Schmitt, J., & Dören, M. (2009). The role of physical activity in the prevention of osteoporosis in postmenopausal women-An update. *Maturitas*, 63(1), 34–38.
- Schoenau, E. (2005). From mechanostat theory to development of the " Functional Muscle-Bone-Unit". *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 5(3), 232.
- Schoenau, E., Neu, C. M., Mokov, E., Wassmer, G., & Manz, F. (2000). Influence of puberty on muscle area and cortical bone area of the forearm in boys and girls. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 85(3), 1095-1098.
- Seeman E. (1995). The dilemma of osteoporosis in men. *The American journal of medicine*, 98(2A), 76S–88S.
- Seeman E. (2001). Unresolved issues in osteoporosis in men. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*, 2(1), 45–64.
- Shen, C. L., Williams, J. S., Chyu, M. C., Paige, R. L., Stephens, A. L., Chauncey, K. B., Prabhu, F. R., Ferris, L. T., & Yeh, J. K. (2007). Comparison of the effects of Tai Chi and resistance training on bone metabolism in the elderly: a feasibility study. *The American journal of Chinese medicine*, 35(3), 369–381.
- Shin, Y. H., H. L. Jung, & H. Y. Kang (2011). "EFFECTS OF TAEKWONDO TRAINING ON BONE MINERAL DENSITY OF HIGH SCHOOL GIRLS IN KOREA." *Biology of Sport* 28.3
- Silva-Fernández, L., Rosario, M. P., Martínez-López, J. A., Carmona, L., & Loza, E. (2013). Denosumab for the treatment of osteoporosis: a systematic literature review. *Reumatología Clínica (English Edition)*, 9(1), 42-52.

Sobh, M. M., Abdalbary, M., Elnagar, S., Nagy, E., Elshabrawy, N., Abdelsalam, M., Asadipooya, K., & El-Husseini, A. (2022). Secondary Osteoporosis and Metabolic Bone Diseases. *Journal of clinical medicine*, 11(9), 2382.

Song, Q. H., Zhang, Q. H., Xu, R. M., Ma, M., Zhao, X. P., Shen, G. Q., Guo, Y. H., & Wang, Y. (2014). Effect of Tai-chi exercise on lower limb muscle strength, bone mineral density and balance function of elderly women. *International journal of clinical and experimental medicine*, 7(6), 1569–1576.

Sornay-Rendu, E., Munoz, F., Garnero, P., Duboeuf, F., & Delmas, P. D. (2005). Identification of osteopenic women at high risk of fracture: the OFELY study. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 20(10), 1813–1819.

Stagi, S., Cavalli, L., Iurato, C., Seminara, S., Brandi, M. L., & de Martino, M. (2013). Bone metabolism in children and adolescents: main characteristics of the determinants of peak bone mass. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*, 10(3), 172.

Stamm, T. A., Pieber, K., Crevenna, R., & Dorner, T. E. (2016). Impairment in the activities of daily living in older adults with and without osteoporosis, osteoarthritis and chronic back pain: a secondary analysis of population-based health survey data. *BMC musculoskeletal disorders*, 17(1), 1-10.

Stone, T. M., Wingo, J. E., Young, J. C., & Navalta, J. W. (2018). An Evaluation of Select Physical Activity Exercise Classes on Bone Metabolism. *International journal of exercise science*, 11(2), 452–461.

Sun, Z., Chen, H., Berger, M. R., Zhang, L., Guo, H., & Huang, Y. (2016). Effects of tai chi exercise on bone health in perimenopausal and postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 27, 2901-2911.

Szulc, P., Munoz, F., Duboeuf, F., Marchand, F., & Delmas, P. D. (2005). Bone mineral density predicts osteoporotic fractures in elderly men: the MINOS study. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 16(10), 1184–1192.

Trutschnigg, B., Chong, C., Habermayerova, L., Karelis, A. D., & Komorowski, J. (2008). Female boxers have high bone mineral density despite low body fat mass, high energy

expenditure, and a high incidence of oligomenorrhea. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 33(5)

Tsang, T. W., Kohn, M., Chow, C. M., & Singh, M. F. (2009). A randomised placebo-exercise controlled trial of Kung Fu training for improvements in body composition in overweight/obese adolescents: the "Martial Fitness" study. *Journal of sports science & medicine*, 8(1), 97–106.

Walsh, G. M. (2012). Treatment options for postmenopausal osteoporosis. *Therapeutics and clinical risk management*, 8, 367.

Wang, Y., Zhao, R., Gu, Z., Dong, C., Guo, G., & Li, L. (2020). Effects of glucocorticoids on osteoporosis in rheumatoid arthritis: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 1-9.

Watson, S. L., Weeks, B. K., Weis, L. J., Harding, A. T., Horan, S. A., & Beck, B. R. (2018). High-Intensity Resistance and Impact Training Improves Bone Mineral Density and Physical Function in Postmenopausal Women With Osteopenia and Osteoporosis: The LIFTMOR Randomized Controlled Trial. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 33(2), 211–220.

Wayne, P. M., Kiel, D. P., Buring, J. E., Connors, E. M., Bonato, P., Yeh, G. Y., Cohen, C. J., Mancinelli, C., & Davis, R. B. (2012). Impact of Tai Chi exercise on multiple fracture-related risk factors in post-menopausal osteopenic women: a pilot pragmatic, randomized trial. *BMC complementary and alternative medicine*, 12, 7.

Wayne, P. M., Kiel, D. P., Krebs, D. E., Davis, R. B., Savetsky-German, J., Connelly, M., & Buring, J. E. (2007). The effects of Tai Chi on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 88(5), 673-680.

Weaver, C. M. (2008). The role of nutrition on optimizing peak bone mass. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 17.

Xu, G., Liu, H., & Zhang, L. (2022). Characterization of Changes in Subchondral Bone Tissue Density of the Ankle Joint in Taekwondo Players. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 10, 872258.

Xu, G., Liu, H., Zhang, L., Xie, S., Deng, K., & Zhao, C. (2021). Influence of taekwondo competition on cortical thickness in the calcaneus and stress distribution in the trabecular bone. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 25(35), 5582.

Zhang, Y., Chai, Y., Pan, X., Shen, H., Wei, X., & Xie, Y. (2019). Tai chi for treating osteopenia and primary osteoporosis: a meta-analysis and trial sequential analysis. *Clinical interventions in aging*, 14, 91–104.

Zhou, Y., Zhao, Z. H., Fan, X. H., Li, W. H., & Chen, Z. (2021). Different Training Durations and Frequencies of Tai Chi for Bone Mineral Density Improvement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2021, 6665642.

Zou, L. Y., Wang, C. Y., & Wang, H. R. (2017). Effect of a long-term modified Tai Chi-based intervention in attenuating bone mineral density in postmenopausal women in southeast China: Study protocol for a randomized controlled trial. *Clinical Trials in Degenerative Diseases*, 2(3), 46.

Annexes

Liste des articles publiés dans des revues indexées :

Al Chalouhy, G., Khawaja, A., Pinti, A., **Khalil, N.**, Zunquin, G., & El Hage, R. (2023). Bone health parameters in middle-aged former basketball players vs. middle-aged inactive men. *Science & Sports*, 38(5-6), 551-560.

Antoun, A., Saddick, H., Nasr, R., **Khalil, N.**, Watelain, E., & El Hage, R. (2021). Relations between maximal strength indices and bone health parameters in a group of elderly subjects. *Science & Sports*, 36(1), 89-93.

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

Khalil, N., Pinti, A., & El Hage, R. (2023). The effects of a 1-year recreational Kung Fu protocol on bone health parameters in a group of healthy inactive young men. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 26(3), 101418. Advance online publication.

Khalil, N., Pinti, A., Khoury, G., Khawaja, A., & El Hage, R. (2023). Lower limbs relative strength and composite indices of femoral neck strength in a group of young adult men. *Science & Sports*, 38(4), 435-438.

Résumés publiés dans des actes de congrès:

El Hage, R., **Khalil, N.**, & Pinti, A. (2022, September). LOWER LIMBS RELATIVE STRENGTH AND COMPOSITE INDICES OF FEMORAL NECK STRENGTH IN A GROUP OF YOUNG ADULT MEN. In *AGING CLINICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH* (Vol. 34, No. SUPPL 1, pp. S207-S208). ONE NEW YORK PLAZA, SUITE 4600, NEW YORK, NY, UNITED STATES: SPRINGER.

Résumé

L'objectif principal de cette thèse était d'explorer les effets d'un an récréatif de Kung Fu sur les paramètres de santé osseuse (contenu minéral osseux, densité minérale osseuse, indices de géométrie osseuse du col fémoral et indices de résistance osseuse du col fémoral) chez un groupe de jeunes hommes inactifs. Deux études principales ont été menées dans le cadre de cette thèse. 54 jeunes hommes inactifs ont volontairement participé à cette étude, 51 l'ont complétée. La population a été divisée en deux groupes : groupe Kung Fu (n = 20) et groupe témoin (n = 31). Le groupe expérimental (Kung Fu) réalisait deux séances hebdomadaires de Kung Fu ; la durée de chaque session était de 45 minutes. La présente étude a démontré que le CMO du corps entier, la DMO du radius ultra-distal, la DMO du 1/3 radial, la DMO du radius total, la DMO de l'avant-bras, la force maximale, la consommation maximale d'oxygène et la performance en détente ont augmenté dans le groupe Kung Fu mais pas dans le groupe témoin. Les pourcentages de variation du CMO CE, de la DMO de l'avant-bras et des performances physiques étaient significativement différents entre les deux groupes. En conclusion, la présente thèse suggère que le Kung Fu récréatif est une méthode efficace pour l'augmentation du CMO du corps entier, la DMO de l'avant-bras et les paramètres de performance physique chez les jeunes hommes inactifs.

Mots clés : Arts martiaux ; Prévention de l'ostéoporose ; Puissance musculaire ; Hommes ; Avant-bras ; Pic de masse osseuse.

Abstract

The main aim of this thesis was to explore the effects of a 1-year recreational Kung Fu protocol on bone health parameters (bone mineral content (BMC), bone mineral density (BMD), femoral neck geometry and composite indices of femoral neck strength) in a group of healthy inactive young men. Two principal studies were conducted as part of this thesis. 54 young inactive men voluntarily participated in this study, but only 51 of them completed it. The participants were assigned to 2 different groups: control group (n=31) and Kung Fu group (n=20). The Kung Fu group performed two sessions of recreational Kung Fu per week; the duration of each session was 45 minutes. The current study has demonstrated that whole body (WB) BMC, ultra-distal (UD) radius BMD, 1/3 radius BMD, total radius BMD, total forearm BMD, maximal strength, maximum oxygen consumption and jumping performance increased in the Kung Fu group but not in the control group. The percentages of variations in WB BMC, forearm BMD and physical performance parameters were significantly different between the two groups. In conclusion, this thesis suggests that recreational Kung Fu is an effective method to improve WB BMC, forearm BMD and physical performance parameters in young inactive men.

Keywords: Martial art; Prevention of osteoporosis; Muscular power; Men; Forearm; Peak bone mass.