



HAL
open science

Effets de deux types d'entraînement de force (hypertrophie vs. lourd-léger) sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des femmes âgées saines

Obaida Abdul Al

► To cite this version:

Obaida Abdul Al. Effets de deux types d'entraînement de force (hypertrophie vs. lourd-léger) sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des femmes âgées saines. Autre. Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2022. Français. NNT : 2022PAUU3061 . tel-04831541

HAL Id: tel-04831541

<https://theses.hal.science/tel-04831541v1>

Submitted on 11 Dec 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

UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR
École doctorale (Sciences sociales et humanités)

Présentée et soutenue le (13 décembre 2022)
par **(Obaida ABDUL AL)**

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

**Effets de Deux Types d'Entraînement de Force
(Hypertrophie vs. Lourd-léger) sur les Paramètres
Osseux et les Paramètres de Performance Physique
chez des Femmes Âgées Saines**

MEMBRES DU JURY

RAPPORTEURS

- Hassane ZOUHAL Professeur des Universités / Université de Rennes 2
- Rachid JENNANE Professeur des Universités / Université d'Orléans

EXAMINATEURS

- Christelle JAFFRE Professeure des Universités / Université de Picardie Jules Verne
- Antonio PINTI Maître de Conférences HDR / Université Polytechnique des hauts de France

DIRECTEURS

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



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier le professeur Rawad EL HAGE qui a dirigé ce travail, pour sa patience, son aide précieuse et ses nombreux encouragements. Je vous remercie de m'avoir consacré de votre temps et de m'avoir laissé la liberté nécessaire à l'accomplissement de mes travaux, tout en y gardant un œil critique et avisé.

Je remercie Dr. Gautier ZUNQUIN, mon directeur de thèse, pour ses conseils éclairés et sa pédagogie qui ont toujours été appréciés pendant ma formation.

J'adresse également toute ma gratitude à M Hassane ZOUHAL et M Rachid JENNANE qui ont rapporté ce travail de thèse. De même, j'adresse mes profonds remerciements à Mme Christelle JAFFRE et à M Antonio PINTI, qui ont bien voulu accepter d'examiner cette thèse.

Merci à tous ceux qui ont participé à ce protocole, sans eux il n'y aurait rien eu !

Je remercie aussi mes parents et ma sœur qui m'ont incitée à poursuivre mes études, et qui m'ont soutenue et encouragée sans relâche.

Finalement, j'aimerais remercier ceux dont le nom n'apparaît pas dans cette page et qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES PUBLICATIONS DE L'AUTEUR	1
LISTE DES TABLEAUX	2
LISTE DES FIGURES	4
LISTE DES ABRÉVIATIONS	5
INTRODUCTION	7
CHAPITRE 1	11
REVUE DE LITTÉRATURE	11
1.1 Vieillessement.....	11
1.1.1 Définition.....	11
1.1.2 Le Vieillessement du Système Musculaire	11
1.1.3 Le Vieillessement du Système Nerveux.....	13
1.1.4 Le Vieillessement du Système Osseux.....	14
1.1.5 Le Vieillessement et les Qualités Physiques	16
1.2 Ostéoporose	17
1.2.1 Définition.....	17
1.2.2 Epidémiologie.....	18
1.2.3 Diagnostic et Suivi	20
1.2.4 Facteurs de Risque et Ostéoporose	24
1.3 Réponse Osseuse Adaptative aux Contraintes Mécaniques de l'Exercice.....	29
1.3.1 Principes d'Action de l'Activité Physique sur la Densité Minérale Osseuse ..	31
1.3.2 Principes de Burr, Robling et Turner.....	32
1.4 Effets de l'Entraînement Physique sur les Paramètres Osseux des Sujets Âgés	34
1.4.1 Effets de l'Entraînement de Force	34
1.4.2 Effets de l'Entraînement Pliométrique	39
1.4.3 Effets de l'Entraînement de Vibration.....	41
1.4.4 Effets de l'Entraînement de Puissance	45
1.5 La Performance Physique et le Tissu Osseux de la Personne Âgée	48
1.5.1 Etudes Transversales Évaluant les Relations entre la Force Musculaire Maximale et les Paramètres Osseux chez les Personnes Âgées	48
1.5.2 Etudes Transversales Évaluant les Relations entre la Puissance Musculaire et les Paramètres Osseux chez les Personnes Âgées	55
1.5.3 La Taille d'Effet des Études d'Entraînement Physique sur la DMO du Col Fémoral et de la Colonne Lombaire	61
CHAPITRE 2	70

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE	70
2.1 Population.....	70
2.1.1 Nombre.....	70
2.1.2 Méthode de Recrutement.....	70
2.1.3 Critères d'Inclusion	70
2.1.4 Critères de non Inclusion.....	71
2.1.5 Critères d'Exclusion.....	71
2.2 Les variables Mesurées et les Indicateurs de l'Étude	73
2.2.1 Les Variables Mesurées :.....	73
2.2.2 Les Indicateurs de l'Étude :	73
2.3 Matériels nécessaires pour la réalisation de l'étude	74
2.3.1 Le 'Pittsburgh Sleep Quality Index' (PSQI).....	74
2.3.2 Le Questionnaire SF-12.....	74
2.3.3 Le Questionnaire GPAQ.....	75
2.3.4 DEXA	75
2.3.5 La Force Musculaire Maximale.....	76
2.3.6 La Force Maximale de Préhension (Hand Grip).....	78
2.3.7 La Détente Verticale.....	79
2.4 Protocoles	80
2.4.1 Protocole d'Évaluation.....	80
2.4.2 Protocole d'Entraînement des Groupes Expérimentaux.....	80
2.5 Étude Statistique.....	82
CHAPITRE 3	83
RÉSULTATS	83
Étude préliminaire : relations entre l'indice de masse squelettique relative et les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de femmes âgées libanaises.....	84
RÉSULTATS DE L'ÉTUDE PRINCIPALE	88
3.1 Les Caractéristiques de Base des Personnes Âgées.....	89
3.2 Les Mesures des Paramètres de Performance Physique des Personnes Âgées au Début de l'Étude.....	90
3.3 Les Mesures Osseuses des Personnes Âgées au Début de l'Étude.....	91
3.4 Les Paramètres Cliniques des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude	93
3.5 Les Mesures des Paramètres de Performance Physique des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude	94
3.6 Les Mesures Osseuses des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude	95
3.7 Différence du Pourcentage de Variation des Paramètres Cliniques des Personnes Âgées.....	97

3.8	Différence du Pourcentage de Variation des Paramètres de Performance Physique des Personnes Âgées	98
3.9	Différence du Pourcentage de Variation des Mesures Osseuses des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude	99
3.10	Les Variations dans les Tests des Paramètres Cliniques suite à l'Intervention	102
3.11	Les Variations de la DMO au niveau des Sites Osseux suite à l'Intervention	104
3.12	Les Variations de la DMO au niveau des Sites Osseux suite à l'Intervention	106
3.13	Corrélations entre les Caractéristiques Cliniques et les Mesures Osseuses des Participantes au Début de l'Intervention	110
3.14	Corrélations entre les Paramètres de Performance Physique et les Mesures Osseuses des Participantes au Début de l'Intervention.....	112
3.15	Corrélations entre les Variations des Paramètres de Performance Physique et celles des Mesures Osseuses des Participantes à la Fin de l'Intervention	114
3.16	Corrélations entre les Variations des Paramètres de Performance Physique et celles des Mesures Osseuses des Participantes des Groupes d'Entraînement à la Fin de l'Intervention	116
3.17	Evolution de la Proportion de Participantes Ostéoporotiques	118
CHAPITRE 4.....		120
DISCUSSION GÉNÉRALE		120
4.1	Valeurs pré-intervention.....	120
4.2	Valeurs post intervention.....	122
4.3	Effets de l'entraînement	123
4.4	Pourcentages de variations	125
4.5	Evolution de la prévalence de l'ostéoporose	126
4.6	Limites de l'étude.....	127
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES		129
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		131
ANNEXES		156
Annexe A		157
Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh (PSQI).....		157
Annexe B		163
Le Questionnaire SF-12		163
Annexe C		164
Le Questionnaire GPAQ.....		164
Annexe D		166
RÉSUMÉS EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS.....		167

LISTE DES PUBLICATIONS DE L'AUTEUR

Publications dans des revues scientifiques :

Abdul Al, O., Zakhem, E., Zunquin, G., & El Hage, R. (2021). Relationships Between Relative Skeletal Muscle Mass Index and Composite Indices of Femoral Neck in a Group of Lebanese Postmenopausal Women. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(4), 663–665. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2021.07.009>

Nasr, R., Al Rassy, N., Watelain, E., Ishac, S., **Abdul Al, O.**, & El Hage, R. (2019). Influence of three different types of physical training programs on bone mineral density in a group of elderly subjects. *Science & Sports*, 34(3), 186–189.

Nasr, R., Al Rassy, N., Watelain, E., Ishac, S., **Abdul Al, O.**, & El Hage, R. (2019). Muscular maximal strength indices and bone variables in a group of elderly men. *Science & Sports*, 34(1), 56–58.

Article en préparation :

Abdul Al, O., Zunquin, G., & El Hage, R. Effects of two types of strength training methods (hypertrophy vs. contrast training) on bone parameters and physical performance parameters in a group of healthy elderly women (à soumettre au journal JCD).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Tableau des indices géométriques de Beck (Beck et coll., 1990)	22
Tableau 1.2	Tableau des indices de résistance osseuse de Karlamangla (2004)	23
Tableau 1.3	Tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement de force sur les paramètres osseux des sujets âgés	34
Tableau 1.4	Tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement pliométrique sur les paramètres osseux des sujets âgées	39
Tableau 1.5	Tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement de vibration sur les paramètres osseux des sujets âgées	41
Tableau 1.6	Tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement de puissance sur les paramètres osseux des sujets âgées	46
Tableau 1.7	Tableau récapitulatif des études transversales évaluant les relations entre la force musculaire maximale et les paramètres osseux chez les personnes âgées	48
Tableau 1.8	Tableau récapitulatif des études transversales évaluant les relations entre la puissance musculaire et les paramètres osseux chez les personnes âgées	56
Tableau 1.9	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO du col fémoral	64
Tableau 1.10	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO de la colonne lombaire	65
Tableau 1.11	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO du col fémoral	65
Tableau 1.12	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO de la colonne lombaire	66
Tableau 1.13	Taille d'effet d'une étude menée sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO du col fémoral	66
Tableau 1.14	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO de la colonne lombaire	67
Tableau 1.15	Taille d'effet d'une étude menée sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO du col fémoral	67
Tableau 1.16	Taille d'effet d'une étude menée sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO de la colonne lombaire	67
Tableau 1.17	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement pliométrique sur la DMO du col fémoral	68
Tableau 1.18	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement pliométrique sur la DMO de la colonne lombaire	68
Tableau 1.19	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de vibration sur la DMO du col fémoral	68
Tableau 1.20	Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de vibration sur la DMO de la colonne lombaire	69

Tableau 1.21	Tableau d'interprétation pour les différentes tailles d'effet	69
Tableau 3.1	Tableau Récapitulatif des Caractéristiques de Base des Participantes	89
Tableau 3.2	Tableau récapitulatif des mesures de performance physique des participantes	90
Tableau 3.3	Tableau récapitulatif des valeurs osseuses au début de l'étude	91
Tableau 3.4	Tableau récapitulatif des paramètres cliniques des participantes	93
Tableau 3.5	Tableau récapitulatif des mesures de performance physique des participantes	94
Tableau 3.6	Tableau récapitulatif des valeurs osseuses à la fin de l'étude	95
Tableau 3.7	Tableau récapitulatif de différence du pourcentage de variation des paramètres cliniques des participantes	97
Tableau 3.8	Tableau récapitulatif de différence du pourcentage de variation des mesures de performance physique des participantes	98
Tableau 3.9	Tableau récapitulatif de différence du pourcentage de variation des valeurs osseuses	99
Tableau 3.10	Tableau récapitulatif des paramètres cliniques au début et à la fin de l'étude	102
Tableau 3.11	Tableau récapitulatif des mesures de performance physique au début et à la fin de l'étude	104
Tableau 3.12	Tableau récapitulatif des valeurs osseuses au début et à la fin de l'étude	107
Tableau 3.13	Corrélations entre les caractéristiques cliniques et les valeurs osseuses au début de l'étude	110
Tableau 3.14	Corrélations entre les paramètres de performance physique et les valeurs osseuses au début de l'étude	112
Tableau 3.15	Corrélations entre les variations des paramètres de performance physique et celles des valeurs osseuses à la fin de l'étude	114
Tableau 3.16	Corrélations entre les variations des paramètres de performance physique et celles des valeurs osseuses des participantes des groupes d'entraînement à la fin de l'étude	116
Tableau 3.17	Evolution de la prévalence de l'ostéoporose au niveau lombaire par la mesure de T-score lombaire	118
Tableau 3.18	Evolution de la prévalence de l'ostéoporose au niveau du col fémoral par la mesure de T-score CF	119

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Évolution de la masse musculaire au cours de la vie (Sayer, 2004)	12
Figure 1.2	Diminution de l'épaisseur des travées osseuses et perte de leur interconnexion chez les patients ostéoporotiques (Fontana & Delmas., 2001)	14
Figure 1.3	Incidence fracturaire de la hanche au Liban (Maalouf et coll. 2013)	19
Figure 1.4	Représentation schématique de la source de rayons X et du système de détection du scanner DEXA (Pisani et coll., 2013)	21
Figure 1.5	Apports adéquats en protéines, calcium et vitamine D et réduction du risque fracturaire chez les personnes âgées (Bonjour, 2011)	25
Figure 1.6	Mécanismes augmentant le risque fracturaire du fait de la déficience en calcium et en vitamine D (Rizzoli, 2008)	26
Figure 1.7	Certains facteurs de risque d'ostéoporose (Blanchet, 2008)	29
Figure 1.8	Le Mécano Transduction Osseuse	30
Figure 2.1	Diagramme des flux de l'étude principale (suivi longitudinal)	72
Figure 2.2	Force musculaire évaluée par des méthodes standardisées (Rivier et coll., 2011)	79

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BSI	Bending Strength Index
BR	Buckling Ratio
CE	Corps Entier
CF	Col Fémoral
CL	Colonne Lombaire
CMO	Contenu Minérale Osseuse
Cm	Centimètres
CSA	Cross Sectional Area
CSMA	Cross-Sectional Muscle Area
CSI	Compressive Strength Index
CSMI	Cross-Sectional Moment of Inertia
D	Droit
DC	Developpé-couché
DEXA	Dual-Energy X-ray Absorptiometry
DMO	Densité Minérale Osseuse
DS	Déviation Standard
G	Gauche
GPAQ	Global Physical Activity Questionnaire
HT	Hanche Totale
IMC	Indice de Masse Corporel
ISI	Impact Strength Index
Kg	Kilogramme
L1-L4	1 ^{er} à 4 ^e vertèbre Lombaire
Leg ext	Leg Extension
MCS	Mental Component Score
MG	Masse Grasse
MI	Membres Inférieurs
MM	Masse Maigre
MMA	Masse Maigre Appendiculaire

MS	Membres Supérieurs
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCS	Physical Component Score
pQCT	Peripheral Quantitative Computed Tomography
PSQI	Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh
QV	Qualité de Vie
RL	Rachis Lombaire
SD	Standard Deviation
SI	Strength Index
S	Seconde
Vit D	Vitamine D
VO2 max	Consommation Maximale d'Oxygène
1-RM	Une Répétition Maximale
Z	Section Modulus

INTRODUCTION

L'ostéoporose est "la maladie osseuse la plus courante chez l'être humain, elle se caractérise par une faible densité minérale osseuse (DMO) et une détérioration de la microarchitecture osseuse entraînant un risque accru de fracture" (OMS, 1994).

L'ostéoporose se classe parmi les problèmes cliniques graves de santé publique qui posent des défis sociaux et financiers, en augmentant le risque de fracture (Lane, 2006).

L'évolution de l'incidence des fractures de hanches est souvent utilisée comme indicateur de l'ostéoporose. Au Liban, ces fractures augmentent de façon exponentielle avec l'âge et prédominent chez les femmes après la ménopause (Maalouf et coll., 2013). De plus, les projections démographiques indiquent que le nombre de fractures de la hanche devrait augmenter considérablement au cours des prochaines décennies (Maalouf et coll., 2013).

Cette augmentation peut être expliquée par les valeurs de DMO des libanais qui sont inférieurs aux valeurs européennes et américaines (El Hage et coll., 2011 ; Maalouf et coll., 2000). La carence en vitamine D, la faible consommation de calcium et le manque d'activité physique constituent les facteurs principaux qui peuvent aboutir à ces valeurs dans la population libanaise (Abi Nader et coll., 2019 ; Alwan et coll., 2018 ; Chakhtoura et coll., 2018 ; El Hage et coll., 2009 ; Fazah et coll., 2010 ; Salamoun et coll., 2005).

Les contraintes mécaniques ont un effet positif sur les paramètres de santé osseuse ; cet effet dépend de plusieurs facteurs comme l'âge des participants, le type d'activité physique pratiqué et l'intensité utilisée.

Avoir un effet sur la densité minérale osseuse (DMO) par diminution du taux de la perte osseuse constitue une stratégie essentielle pour lutter contre l'ostéoporose et ses effets chez les personnes âgées, en particulier les femmes ménopausées.

Ainsi, il est recommandé que l'entraînement de force avec une intensité élevée (80% d'1-RM) et avec des exercices sélectionnés permet de maintenir la DMO par son effet conjoint sur la masse et la force musculaire en stimulant efficacement l'ostéogénèse (American College of Sports Medicine, 2009).

En revanche, il existe encore une controverse concernant l'effet ostéogénique de l'entraînement de force chez les femmes âgées au niveau de la hanche et de la colonne lombaire. Rhodes et coll. (2000) n'ont pas trouvé une amélioration significative de la DMO après 1 an d'entraînement de force (75% RM) chez des femmes âgées sédentaires. De même, Nikander et coll. (2010) n'ont pas trouvé dans leur revue systématique d'effets significatifs de l'exercice (danse, marche, équilibre, résistance, sauts) sur la résistance osseuse chez les personnes âgées. Ceci peut être expliqué par un manque de stimulus efficace pour engendrer une réponse osseuse adaptée.

L'entraînement en résistance produit des amplitudes de déformation qui dépassent systématiquement les seuils ostéogéniques. Mais, comme la vitesse du mouvement est lente, les faibles taux et fréquences de déformation peuvent limiter les améliorations de la DMO (Caruso et coll., 2021 ; Cullen, Smith, et Akhter, 2001 ; Zehnacker et Bemis-Dougherty, 2007).

Récemment, de nombreuses publications ont mis en évidence l'importance du facteur vitesse durant l'exécution des mouvements de force et ont observé que les mouvements

rapides sollicitent davantage les fibres musculaires de type II qui sont les plus affectées par le vieillissement surtout chez les personnes atteintes d'ostéoporose.

De même, un entraînement de résistance à vitesse élevée peut conduire à des adaptations osseuses plus importantes qu'un entraînement de résistance à vitesse spontanée pour maintenir la masse osseuse chez les femmes âgées, car il produit un 'stress' mécanique plus élevé (Hamaguchi et coll., 2017 ; Mosti et coll., 2013 ; Stengel et coll., 2005). Stengel et coll. (2005) ont montré qu'un entraînement de puissance d'1 an {12 semaines d'entraînement à charge très élevée (70–90% 1 RM) suivie par 4–5 semaines d'entraînement à faible charge (50% 1 RM)} était plus efficace pour réduire la perte osseuse chez les femmes ménopausées que l'entraînement en force seule. Mais, cette théorie reste non validée à cause du nombre restreint des études longitudinales effectuées, du pouvoir insuffisant des quelques études publiées, de l'utilisation de protocoles d'entraînement non appropriés. Ainsi, ces études présentent de nombreuses limites, notamment la petite taille de l'échantillon, la courte durée de l'entraînement et le fait que les participants étaient engagés dans un programme d'exercice au préalable (Aquino et coll., 2020 ; Hamaguchi et coll., 2017 ; Stengel et coll., 2005).

Parmi les recherches effectuées, aucune ne faisait référence à un entraînement simultané de force maximale et de puissance maximale durant la même séance (au cours de la même série) chez des femmes âgées dans le but de prévenir la perte osseuse. Alors qu'il est important de s'entraîner simultanément pour la force afin de fournir une bonne base pour le développement de la puissance.

En se basant sur ces données, le but essentiel de cette étude est d'explorer l'effet combiné de l'intensité et de la vitesse du mouvement pendant un entraînement de résistance sur les

paramètres osseux et les paramètres de performance physique, en comparant 2 types d'entraînement physique (lourd-léger versus hypertrophie) chez des femmes âgées saines au Liban Nord. Ainsi, notre hypothèse principale est que les deux méthodes utilisées sont efficaces pour augmenter la DMO et la force musculaire. L'hypothèse secondaire est que l'efficacité de la méthode lourd-léger serait légèrement supérieure à celle de la méthode hypertrophie pour améliorer les paramètres osseux du fait des contraintes ostéo-articulaires plus importantes et de la mobilisation des charges à vitesse plus élevée affectant les fibres musculaires rapides ainsi que les cellules osseuses.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Vieillessement

1.1.1 Définition

Le vieillissement est défini comme un processus physiologique aboutissant à une modification des différents systèmes du corps, musculo-squelettique, nerveux, cardiovasculaire, etc. Cette modification est très variable d'un individu à un autre du fait de facteurs génétiques et environnementaux (CNEG, 2000). En effet, le vieillissement survient aux alentours de 55 – 60 ans à partir d'âge de cessation de l'activité professionnelle selon la définition sociale et à partir de 65 ans et plus selon l'organisation mondiale de la santé (OMS).

1.1.2 Le Vieillessement du Système Musculaire

Le vieillissement du muscle squelettique se traduit par une perte de 1 à 2 % par an de la masse musculaire et de 1,5 % par an de la force musculaire au-delà de 50 ans, suite à des modifications physiologiques qui surviennent avec l'âge même en dehors de toute pathologie (Vandervoot, 2002). Cela constitue un syndrome gériatrique primaire nommé 'Sarcopénie' qui va engendrer une incapacité fonctionnelle, une altération de la qualité de vie, avec augmentation du risque de fracture et par la suite de la mortalité chez les sujets âgés (Cruz-Jentoft et coll., 2010). La figure 1.1 illustre l'évolution de la masse et de la force musculaire au cours de la vie. (Elle est en partie influencée par le pic atteint durant la phase de croissance) (Sayer, 2004).

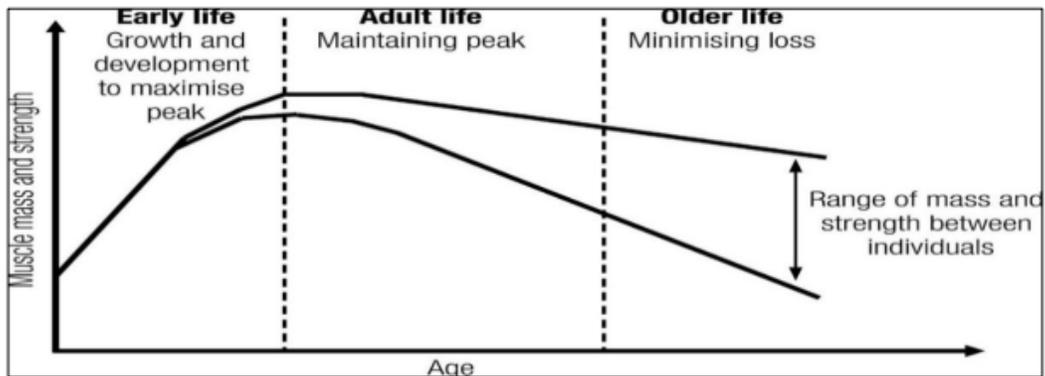


Figure 1.1 : Évolution de la masse musculaire au cours de la vie (Sayer, 2004).

L'épidémiologie a permis d'identifier différents mécanismes et facteurs favorisant cette perte musculaire :

- Une modification dans le métabolisme protéique au niveau musculaire a lieu avec le vieillissement. La synthèse des protéines musculaires est diminuée due à une alimentation protéique insuffisante, une baisse des concentrations des hormones anabolisantes et d'autres facteurs favorisant. De plus, l'augmentation du taux des cytokines pro-inflammatoires va entraîner un excès de protéines destructives (Weber, Grillain & Petermans, 2010).
- Une diminution du nombre de mitochondries et des enzymes oxydatives ce qui va aboutir avec la perte de protéines musculaires au phénomène de l'apoptose qui est la mort d'un nombre plus important de cellules musculaires (Weber, Grillain & Petermans, 2010).
- La perte de masse musculaire s'accompagne d'un changement quantitatif du tissu musculaire avec diminution du nombre de fibres de type II (sollicitées durant les réponses musculaires rapides), du nombre d'unités motrices et du nombre de motoneurones alpha. Ainsi, l'augmentation de la masse grasse et des tissus conjonctifs est responsable d'un changement qualitatif au niveau musculaire (Overend et coll., 1992).

- Le vieillissement entraîne une altération du système endocrinien y compris la diminution des hormones anaboliques (IGF-1, testostérone), les changements métaboliques (insulino-résistance), la déficience en vitamine D et l'augmentation du taux de cortisol, ce qui engendre une diminution de la masse et de la force musculaire.
- Le mode de vie sédentaire et l'obésité des personnes âgées sont associés à une augmentation de la masse grasse qui va diminuer le renouvellement des protéines musculaires et le recrutement des unités motrices. Alors, la force et la fonction musculaire vont également être réduites.

1.1.3 Le Vieillissement du Système Nerveux

Le vieillissement s'accompagne de nombreuses modifications neurologiques du système nerveux central et périphérique, ce qui est à l'origine de déficits mineurs dans la structure et la fonction du système nerveux des personnes âgées (CNEG 2000). Parmi ces modifications, il faut noter :

- L'augmentation du temps de réaction après qu'une nouvelle information soit arrivée en raison d'une diminution de certains neurotransmetteurs intracérébraux, de la réduction du nombre de neurones corticaux et de la raréfaction de la substance blanche.
- L'augmentation des temps de conduction des nerfs périphériques qui renseignent le cerveau sur l'environnement et transmettent des messages en retour aux différents muscles. Pour cela, on voit une diminution de la fluidité d'un mouvement avec une diminution de la sensibilité proprioceptive favorisant l'instabilité posturale.
- Une hyperactivité sympathique du système nerveux autonome avec un ralentissement de la réponse aux stimulations due à la diminution de la sensibilité des récepteurs aux catécholamines qui se présentent avec des taux plasmatiques élevés chez les sujets âgés.
- La diminution de la sécrétion de mélatonine par l'épiphyse avec le vieillissement est responsable d'une désorganisation des rythmes circadiens et d'une altération de la qualité du sommeil qui touchent les femmes plus que les hommes.

- La diminution de la sensation de soif chez les individus âgés qui survient suite à des modifications du métabolisme de l'arginine vasopressine et à la réduction de la sensibilité des osmorécepteurs (récepteurs de la soif).

Avec l'avancée en âge, on retrouve également des troubles dans des fonctions cognitives spécifiques telles que la mémoire, la fonction exécutive et l'attention qui permettent d'augmenter le risque de syndrome confusionnel (Buckner, 2004 ; Salthouse et coll., 2003 ; Schretlen et coll., 2000).

1.1.4 Le Vieillissement du Système Osseux

Le vieillissement du système osseux se caractérise par un phénomène physiologique de perte osseuse de 4% par an qui s'accélère surtout chez la femme après la ménopause. Cette perte osseuse se traduit par une diminution de la DMO associée à une diminution de la résistance mécanique de l'os ; ceci entraîne une fragilité osseuse avec augmentation des risques de chute et de fracture ostéoporotique chez les personnes âgées (Orcel et Funck-Brentano 2011). De plus, une modification de l'architecture des travées osseuses aura lieu durant cette période surtout en cas de pathologie [figure 1.2].

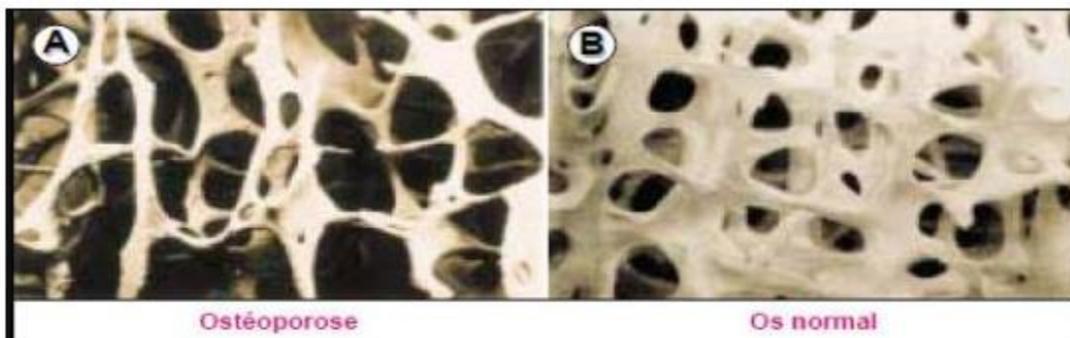


Figure 1.2 : Diminution de l'épaisseur des travées osseuses et perte de leur interconnexion chez les patients ostéoporotiques (Fontana & Delmas., 2001).

Tous ces phénomènes sont dûs à une altération du remodelage osseux, à un changement dans la biologie des cellules osseuses et à un déséquilibre du turnover où la quantité d'os formée devient inférieure à celle éliminée (Manolagas et Jilka, 1995).

Il a été démontré que la durée de vie des ostéoblastes (cellules de formation osseuse) est raccourcie avec l'âge, ce qui diminue le nombre de ces cellules et leur efficacité à fournir des quantités suffisantes d'os. En outre, l'évidence suggère que l'altération de la fonction des ostéocytes avec le vieillissement va diminuer la capacité des charges mécaniques à générer une nouvelle formation osseuse (Turner et coll., 1995). Par contre, il a été décrit que les ostéoclastes (cellules de résorption osseuse) deviennent plus actifs pendant le vieillissement et enlèvent plus d'os, ce qui entraîne une perte osseuse importante (Eriksen, 1986).

Il est évident que le statut hormonal joue un rôle essentiel dans le mécanisme de cette perte osseuse avec l'âge en activant le remodelage osseux. Manolagas et coll., (2002) ont démontré dans leur étude que l'ostéoclastogenèse et l'ostéoblastogenèse augmentent avec le vieillissement du fait du déficit en stéroïdes (œstrogènes et androgènes) qui diminuent le nombre de cycles de remodelage osseux et stimulent l'apoptose ostéocytaire. De plus, le risque d'apparition d'ostéoporose chez les personnes âgées va être augmenté suite à des anomalies de sécrétion d'autres hormones, en particulier l'hormone parathyroïdienne (Riggs et coll., 1998).

L'influence des hormones sur la DMO est clairement expliquée chez les femmes durant les premières années postménopausiques. Un déficit en œstrogènes après la ménopause entraîne une augmentation de l'expression de certaines cytokines de résorption osseuse [l'interleukine (IL) -1, l'IL-6, tumor necrosis factor- α (TNF- α), le facteur stimulant les colonies de macrophages (M-CSF) et les prostaglandines], ce qui augmente le taux de remodelage osseux en activant la phase de résorption (Khosla et Riggs, 2005 ; Frenkel et coll., 2010). Ainsi, il a été trouvé que les niveaux d'œstrogènes plus faibles chez les femmes âgées sont significativement associés à une perte osseuse plus importante et à un risque de fracture plus élevé (Devine et coll., 2005).

1.1.5 Le Vieillissement et les Qualités Physiques

Le vieillissement est à l'origine d'une détérioration générale de l'état physique des sujets avec diminution des capacités fonctionnelles nécessaires pour maintenir l'autonomie de la personne (Wilson et Tanaka 2000). Ainsi, les personnes âgées vont souffrir d'une difficulté à exécuter les gestes quotidiens, à se relever d'une chaise et à soulever une charge. Et dans des cas plus sévères, cette altération peut conduire à un trouble de la marche, de l'équilibre et une augmentation du risque de chute ce qui va entraîner l'apparition de certaines pathologies néfastes pour la santé et augmenter le risque de fracture (Nitz et Choy, 2004).

Cette altération des performances fonctionnelles avec l'âge est le résultat d'une détérioration de la fonction musculosquelettique et aérobie qui englobe trois éléments essentiels de la capacité physique (force, puissance, endurance) (Skelton et coll., 1994).

1.1.5.1 Force musculaire

L'avancée en âge s'accompagne d'une diminution de la force musculaire surtout au niveau des membres supérieurs car le nombre de motoneurones et des unités motrices diminue plus rapidement que la masse musculaire. Ainsi, il y a une préservation de la force excentrique alors que la force isométrique et isocinétique sont les plus touchées (Tissandier et coll., 2004). De plus, le déclin de la force musculaire est associé à une diminution de la mobilité, un risque élevé d'incapacité et de chutes (Buchner, 1997 ; Guralnik et coll., 1995 ; Tinetti et coll., 1986).

1.1.5.2 Puissance musculaire

La puissance musculaire représente la capacité du sujet à produire une force maximale et rapide (Fleishman et Edwin, 1984). Cette habileté, importante pour maintenir la capacité fonctionnelle, permet donc à la personne de marcher, monter et descendre les escaliers et prévenir les chutes (Petrella et coll., 2004). En vieillissant, la puissance diminue plus vite que la force en raison d'une perte des fibres musculaires de type II (Metter et al. 1997). De

plus, cette baisse de la puissance est associée à une mobilité réduite et à une incapacité à soulever des charges lourdes (Bean et coll., 2003 ; Bean et coll., 2004).

1.1.5.3 L'endurance

L'endurance se définit par l'aptitude d'un sujet à effectuer un exercice de longue durée.

La capacité d'endurance diminue de 20% entre 40 et 60 ans suite à une réduction préalable de la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$), qui représente la capacité du corps à transporter l'oxygène pour être consommé par les muscles et qui permet d'évaluer l'aptitude cardio-vasculaire (Astrand, 1976 ; Kenny et coll., 2008). En ce sens, il a été signalé que les sujets âgés marchent moins vite que les jeunes adultes avec un coût métabolique élevé en raison d'un déclin de 5 à 8% par décennie de leur $VO_2\text{max}$ (Martin et coll., 1992 ; Shephard et coll., 2009 ; Song et Geyer, 2018).

De plus, l'endurance à l'effort mesurée par la quantité de travail effectué par des tests spécifiques (test de marche de 6 minutes ou test sur tapis roulant) subit une diminution linéaire avec le vieillissement. La recherche montre aussi que cette détérioration est plus importante chez les femmes que chez les hommes surtout après l'âge de 60 ans (Hollenberg et coll., 1998 ; Tanaka et Seals, 2003).

1.2 Ostéoporose

1.2.1 Définition

L'ostéoporose a été défini selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme une « maladie généralisée du squelette, caractérisée par une baisse de la densité osseuse et des altérations de la micro-architecture trabéculaire osseuse, conduisant à une fragilité osseuse exagérée et donc à un risque élevé de fracture » (Genant et coll., 1999). Cette définition est quantifiée par la mesure de la densité minérale osseuse (DMO) et par le calcul du T score qui représente la déviation standard entre la DMO mesuré chez un individu et la DMO

moyenne de la population de référence à l'âge adulte (âge du pic de masse osseuse) de même sexe. Ainsi, il en résulte quatre niveaux de perte osseuse :

- Ostéodensitométrie normale : T score > -1 DS
- Ostéopénie : -2.5 DS $<$ T score < -1 DS
- Ostéoporose : T score < -2.5 DS
- Ostéoporose avérée ou sévère : T score < -2.5 DS et fracture ostéoporotique (Kanis, 1994).

De plus, certaines fractures sont asymptomatiques d'où l'importance de la réalisation de calcul de T score afin de détecter l'ostéoporose avant la survenue de fracture.

Cette maladie silencieuse peut provoquer des incapacités fonctionnelles chez les personnes âgées, ainsi que des troubles sociaux et psychologiques. Elle est associée à une altération de la qualité de vie et à une perte de l'indépendance et de l'autonomie du sujet surtout après les fractures au niveau de la hanche (Cauley, 2013 ; Johnell et Kanis, 2004).

1.2.2 Epidémiologie

Depuis une trentaine d'années, une transition démographique a eu lieu au Liban avec une progression régulière de l'espérance de vie et du nombre des personnes âgées dans la population. Ceci peut être expliqué par la diminution accélérée du taux de la fécondité et de la mortalité. Les projections démographiques indiquent qu'en 2025, le nombre des personnes âgées de plus de 65 ans devraient représenter 10.2% de la population libanaise (Sibai et coll., 2004).

Cette tendance croissante à l'allongement de la vie est à l'origine de l'augmentation de la prévalence de l'ostéoporose qui s'exprime cliniquement par une augmentation de façon exponentielle des fractures au niveau de trois sites osseux essentiels : l'extrémité supérieur de fémur, le poignet et les vertèbres.

L'ostéoporose représente un problème majeur de santé publique en raison de son association avec les fractures de fragilité. Dans ce sens, Holroyd et coll. (2008) ont montré

que les fractures de la hanche et des vertèbres sont liées à une mortalité importante. Comprendre l'épidémiologie de cette maladie est donc essentiel afin de développer des stratégies efficaces pour aider à réduire les graves conséquences de cette pathologie.

Au Liban, l'épidémiologie de l'ostéoporose repose sur l'évolution de l'incidence des fractures de la hanche. Une étude menée en 2007 montre une augmentation des taux d'incidence des fractures de la hanche avec l'âge proche à celle décrite dans la plupart des pays. L'incidence annuelle était de 1199 cas chez les personnes âgées de plus de 50 ans dont la plupart étaient ostéopéniques. Ces fractures prédominent chez les femmes et croissent fortement dès l'âge de 75 ans pour atteindre des niveaux élevés par la suite (Maalouf et coll., 2013).

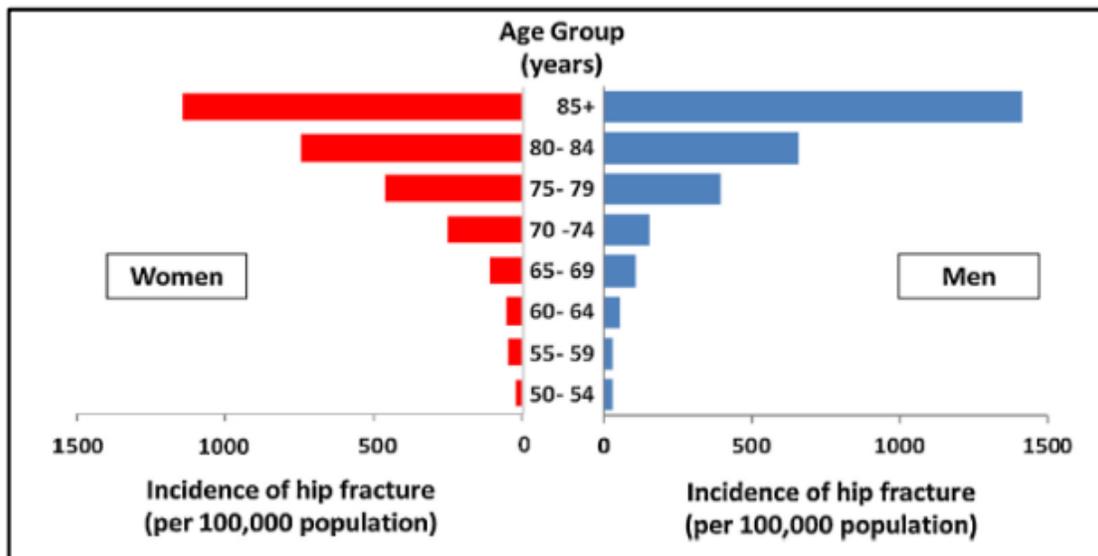


Figure 1.3: Incidence fracturaire de la hanche au Liban (Maalouf et coll. 2013)

Cette incidence élevée d'ostéopénie pourrait être expliquée par le faible taux de vitamine D dans la population libanaise. En effet, il a été démontré que la carence en vitamine D touche 68,1% de la population libanaise, et que cette carence était plus fréquente chez les femmes que chez les hommes (83,9% contre 33,3% pour les hommes). Les femmes voilées et les ruraux sont les plus à risque (Ghassan et coll., 2004).

Récemment, Bassatne et coll. (2020) ont trouvé dans leur étude que la prévalence de l'ostéoporose était de 72% chez les personnes âgées libanaises pour la période entre 2012 à 2017. Elle dépassait celle des autres maladies telles que l'hypertension, le diabète, la dyslipidémie et les maladies cardiovasculaires. De plus, l'incidence des fractures ostéoporotiques majeures était plus élevée que celle des cancers les plus courants chez les femmes âgées de plus de 50 ans. En particulier, il était de 1.5 à 1.7 supérieur à celui du cancer du sein.

De nos jours l'intérêt grandit pour les fractures du col du fémur qui entraînent des conséquences sévères sur la santé puisque la plupart des sujets ne récupèrent pas les fonctions locomotrices et le niveau d'autonomie qu'ils avaient avant la fracture. De plus, il faut noter que la prévalence de l'ostéoporose au niveau du col du fémur chez les femmes âgées au Liban, selon l'étude de Bassatne et coll. (2020), est plus élevée que celle rapportée en Europe (Wade et coll., 2014).

L'ostéoporose est à l'origine des tassements vertébraux dont l'épidémiologie reste mal connue du fait de la variabilité des tests de mesure radiologique et du nombre important de tassements dorsaux demeurant asymptomatiques.

On ne peut parler d'ostéoporose sans évoquer en détail l'importance d'une fracture vertébrale. Cette importance est liée à ses conséquences cliniques ; Les fractures vertébrales peuvent entraîner une cyphose avec des douleurs dorsales, peuvent atténuer la fonction pulmonaire et affecter ainsi la qualité de vie des sujets. De plus, une fois qu'une fracture vertébrale est présente, le risque d'en avoir une autre augmente de 20% (Ghassan et coll., 2004).

1.2.3 Diagnostic et Suivi

Différentes techniques d'évaluation de la qualité de l'os sont utilisées afin de diagnostiquer la survenue de l'ostéoporose, de prédire les fractures et de suivre la démarche thérapeutique. Il est décrit que l'ostéodensitométrie constitue la méthode non invasive la plus recommandée pour le diagnostic de l'ostéoporose avant toute fracture.

En effet, la DEXA est actuellement la technique de densitométrie osseuse la plus disponible et est considérée comme la méthode de référence (Blake et Fogelman, 2007). Cet outil présente des avantages qui le rendent le plus utilisé, notamment, son coût raisonnable, sa haute précision, son évaluation des sites spécifiques les plus fragiles et son exposition peu importante aux rayonnements pour le patient (Engelke et Gluer, 2006 ; Njeh et coll., 1999). La machine comprend une table d'examen pour le patient, une partie mobile sous le patient qui produit des rayons X et un système au-dessus de la table d'examen qui détecte le rayonnement produit. La source de rayons X et le détecteur de rayons X se déplacent ensemble et sont situés précisément de façon opposée (figure 1.4).

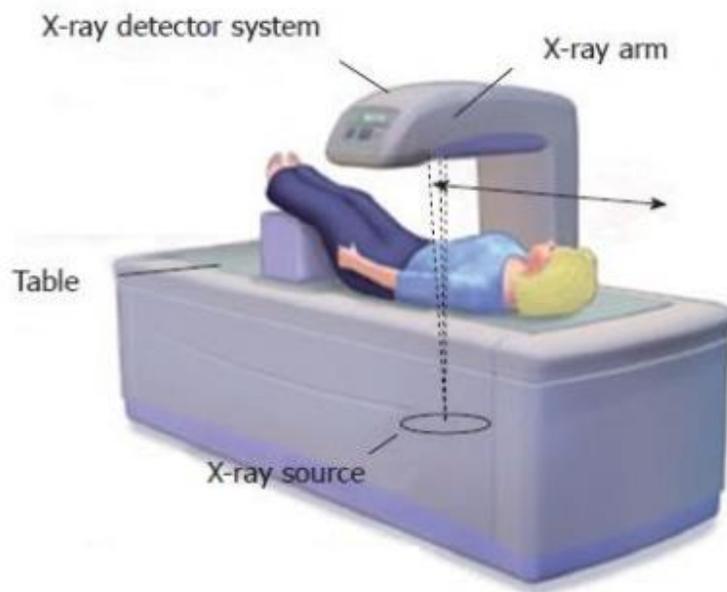


Figure 1.4: Représentation schématique de la source de rayons X et du système de détection du scanner DEXA (Pisani et coll., 2013).

La DEXA est un appareil d'évaluation des paramètres osseux et d'autres composantes du corps [masse maigre (MM), masse grasse (MG) et indice de masse musculaire squelettique (SMI)]. Ainsi, on s'intéresse à la mesure des valeurs de la DMO (g/cm^2) en plusieurs sites osseux :

- Corps entier (CE)
- Colonne lombaire CL (L1-L4)
- Hanche totale (HT) et col fémoral (CF)

De plus, la DEXA peut calculer de nombreuses variables osseuses notamment le contenu minéral osseux (CMO), le TBS, les indices géométriques de Beck et les indices de résistance osseuse de Karlamangla (tableau 1.1, tableau 1.2).

Tableau 1.1 : Tableau des indices géométriques de Beck (Beck et coll., 1990)

CT	L'épaisseur corticale	Il est un déterminant de la résistance osseuse et du risque de fracture ostéoporotique
Z	Le module de section	Il reflète la résistance en flexion
BR	Le buckling ratio	Il reflète la stabilité corticale à la déformation
CSA	La surface de section transversale	Il est un indice de la capacité de l'os à supporter la compression axiale
CSMI	Le moment d'inertie de la surface transversale	Il est un index de rigidité structurale de l'os

Tableau 1.2 : Tableau des indices de résistance osseuse de Karlamangla (2004)

CSI	Compression Strength Index	Il reflète la capacité du col fémoral à résister une force de compression axiale
BSI	Bending Strength Index	Il reflète la capacité du col fémoral à résister une force de flexion
ISI	Impact Strength Index	Il reflète la capacité du col fémoral à absorber l'énergie lors d'un impact

Par contre, la DEXA ne permet pas la distinction entre l'os cortical et l'os trabéculaire d'un tissu osseux et elle est donc incapable d'obtenir la mesure de la DMO volumique réelle (Griffith et Genant, 2008).

De même, les médecins se sont appuyés sur la tomodensitométrie quantitative afin d'obtenir la mesure de la DMO volumique corticale et celle trabéculaire. Mais, cette technique est moins utilisée à cause du coût très élevé et du rayonnement assez important au patient (Griffith et Genant, 2008).

Récemment, l'outil FRAX a été mis en place par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) afin de calculer de façon rapide le risque de survenue d'une fracture ostéoporotique pour chaque individu dans les dix ans à venir sous forme de probabilité.

Concernant la démarche thérapeutique, les seuils d'intervention diffèrent des seuils diagnostiques pour plusieurs raisons. Premièrement, le risque de fracture varie considérablement selon les populations. Par exemple, chez les femmes ayant un T score de -2,5, la probabilité de fracture de la hanche est 5 fois plus élevée à l'âge de 80 ans qu'à l'âge de 50 ans. D'autres facteurs qui déterminent les seuils d'intervention comprennent la présence de facteurs de risque cliniques. Les seuils d'intervention seront également déterminés en partie par le coût et les avantages du traitement (Kanis et coll., 2008).

1.2.4 Facteurs de Risque et Ostéoporose

Différents facteurs favorisant la perte osseuse, l'ostéoporose et les fractures sont maintenant bien connus :

1.2.4.1 L'hérédité

Il est bien établi que la DMO maximale acquise durant la phase de croissance est sous l'influence de l'hérédité (Duncan et Brown, 2010). Des auteurs ont comparé la DMO des mères avec celle de leurs filles avant la période de puberté et ont trouvé une corrélation significative (Ferrari et coll., 1998). Eisman (1990) a montré dans une étude menée sur les vrais et les faux jumeaux que les facteurs génétiques peuvent influencer jusqu'à 80% de la variation de la masse osseuse. Ainsi, de nombreuses études indiquent que les patients ayant déjà subi des fractures ont un risque accru de futures fractures, et que les antécédents familiaux de fracture sont responsables d'une augmentation du risque de fracture (Kanis et coll., 2004 ; Klotzbuecher et coll., 2000).

1.2.4.2 Troubles de l'alimentation

Le calcium et les protéines constituent des nutriments indispensables pour la croissance et le développement des os (Bonjour et coll., 2011). La plupart des études ont observé une relation positive entre la consommation journalière de calcium et la masse osseuse chez des enfants et des adolescents (Rizzoli et coll., 2010). Ils ont démontré les effets bénéfiques de la supplémentation en calcium sur le CMO et la DMO en diminuant la sécrétion de l'hormone parathyroïdienne (PTH) avec augmentation de la concentration calcique sérique (Reid et coll., 2015). En plus, les apports en protéine favorisent la sécrétion de l'IGF-1 ce qui améliore la croissance osseuse et influence positivement le CMO, la DMO et les propriétés géométriques des os (Alexy et coll., 2005 ; Breen et coll., 2011 ; Remer et coll., 2011 ; Rizzoli et coll., 2010).

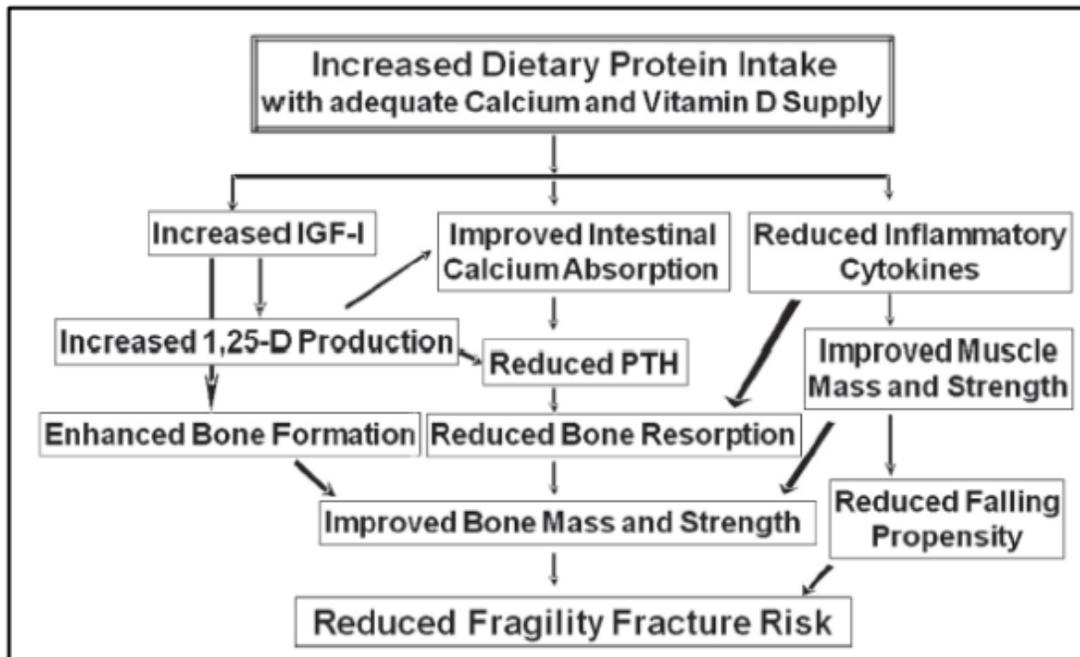


Figure 1.5 : Apports adéquats en protéines, calcium et vitamine D et réduction du risque fracturaire chez les personnes âgées (Bonjour, 2011)

Cependant, l'apport quotidien en protéines et l'absorption de calcium sont moins importants chez les sujets âgés ayant un appétit réduit, ce qui augmente la perte osseuse dans cette population (Cashman, 2007 ; Ensrud et coll., 2003 ; Milaneschi, Tanaka, et Ferrucci, 2010 ; Morley, 2001). De plus, il a été démontré que la diminution du risque de survenue de l'ostéoporose dépend essentiellement d'un apport alimentaire riche en protéines durant la phase de croissance du patient (Toba et coll., 2000).

1.2.4.3 Carence en vitamine D

Une insuffisance en vitamine D (Vit D) a été détectée dans toute la population et surtout les femmes âgées en raison d'une exposition inadéquate au soleil et des apports alimentaires insuffisants (Lips et coll., 2001). Cette insuffisance entraîne une diminution

d'absorption calcique avec une perte osseuse chez les personnes âgées, ce qui va augmenter le risque d'ostéopénie et d'ostéoporose (Cashman, 2007).

En outre, plusieurs études ont trouvé que le déficit en Vit D est associé à une diminution de la force musculaire et à une augmentation du risque de chutes (Bischoff-Ferrari, 2012 ; Girgis et coll., 2014 ; Janssen et coll., 2002).

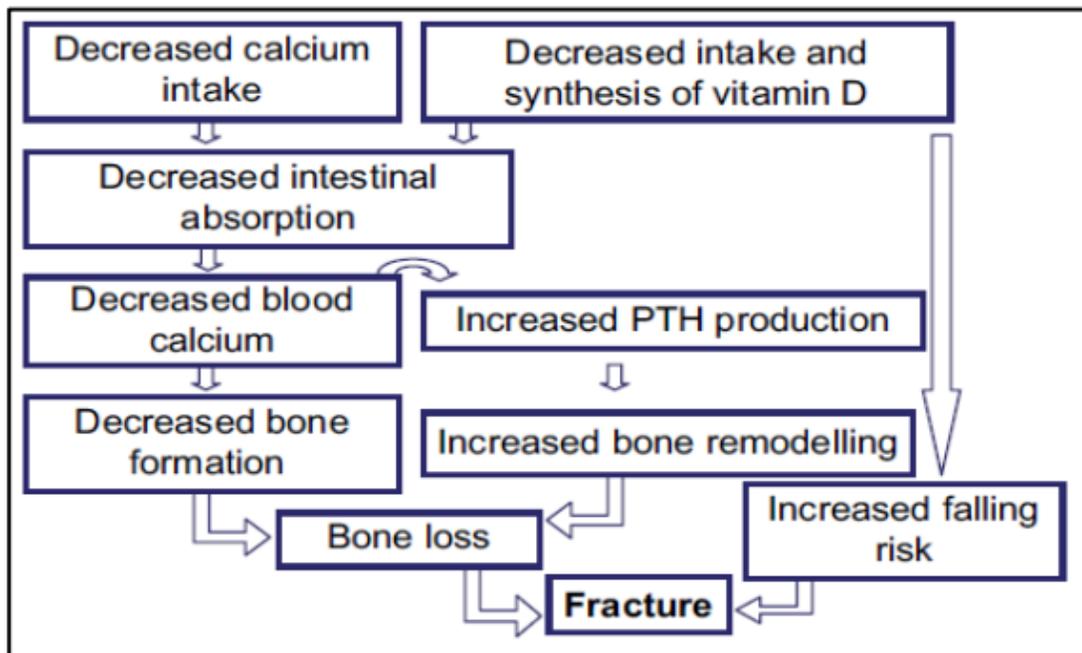


Figure 1.6 : Mécanismes augmentant le risque fracturaire du fait de la déficience en calcium et en vitamine D (Rizzoli, 2008).

1.2.4.4 Sédentarité

La pratique d'une activité physique induit une augmentation de la DMO et du CMO chez les enfants et les adultes. Ainsi, Bonjour et coll., (2009) ont trouvé des valeurs de DMO plus élevées au niveau de la colonne lombaire et du col fémoral chez les adultes sportifs par rapport aux sédentaires qui ne pratiquaient aucune activité physique.

La diminution des capacités fonctionnelles et de la pratique sportive avec l'âge influence l'autonomie de la personne et constitue un des facteurs de risque de l'ostéoporose et des fractures (Wilson et Tanaka, 2000). Ainsi, il a été démontré que la pratique d'un exercice physique avec l'augmentation du niveau de déplacement chez cette population sont nécessaires pour engendrer un stimulus ostéogénique (Kohrt et coll., 2004).

1.2.4.5 Les maladies et la prise médicamenteuse

Certaines maladies (polyarthrite rhumatoïde, insuffisance rénale, affections intestinales chroniques, diabète, etc...) peuvent accélérer la perte osseuse entraînant des ostéoporoses secondaires. De plus, une méta-analyse a montré que l'utilisation prolongée de glucocorticoïdes augmente le risque d'ostéoporose et de fracture chez les sujets (Kanis et coll., 2004).

L'ostéoporose secondaire touche plus fréquemment les hommes que les femmes (Fitzpatrick, 2002). Cependant, les hommes qui suivent une thérapie de privation androgénique (ADT) après un cancer de la prostate vont subir une perte osseuse importante avec un risque de fracture osseuse en raison des faibles taux d'estradiol et de testostérone (Bienz et Saad, 2015 ; Smith, 2007).

1.2.4.6 Consommation excessive d'alcool et de tabac

Le tabagisme entraîne une augmentation du catabolisme des œstrogènes avec une diminution des taux sériques de Vit D, une malabsorption du calcium et une mauvaise vascularisation osseuse. Ceci explique les valeurs de DMO plus faibles chez les fumeurs par rapport à celles des non-fumeurs (Hannan et coll, 2000 ; Krall et Dawson-Hughes, 1993 ; Weaver et coll., 2016).

La consommation excessive d'alcool peut conduire à la survenue de certaines maladies notamment la cirrhose, à une absorption altérée des nutriments et à une diminution de la

DMO par toxicité des ostéoblastes. Cela va augmenter le risque d'ostéoporose et de fracture chez les sujets qui consomment trois unités et plus d'alcool par jour (Kanis et coll., 2005 ; Ilich et Kerstetter, 2000). En revanche, l'arrêt ou la diminution de cette consommation sont associées à une amélioration de la formation osseuse par augmentation de l'ostéocalcine (García-Sanchez et coll., 1995).

1.2.4.7 Facteurs hormonaux

L'hormone de croissance et l'IGF-1 constituent des régulateurs de l'homéostasie osseuse et jouent un rôle important dans l'optimisation du pic de masse osseuse et la prévention de l'ostéoporose (Locatelli et Bianchi, 2014). En revanche, leur déficience cause une diminution de la DMO dans les deux sexes avec une augmentation du risque des fractures ostéoporotiques (Garnero et coll., 2000).

Les hormones sexuelles jouent un rôle primordial dans le métabolisme osseux durant la phase de puberté dans les deux sexes (Compston, 2001). Le dimorphisme squelettique est déterminé par les stéroïdes sexuels chez les adolescents. La testostérone est responsable des différences entre les sexes en termes de géométrie osseuse, ce qui explique la croissance en longueur plus importante chez les garçons. De plus, l'œstrogène joue un rôle dans le développement osseux et affecte positivement la masse osseuse. En pratique, les os des hommes sont plus gros en taille, en diamètre et en épaisseur corticale que ceux des femmes (Locatelli et Bianchi, 2014) et le déficit en œstrogènes constitue un facteur déterminant de la perte osseuse chez les femmes après la ménopause (Frenkel et coll., 2010). Pour cela, le risque de fracture ostéoporotique est plus important chez les femmes âgées par rapport aux hommes âgés (Compston, 2001).

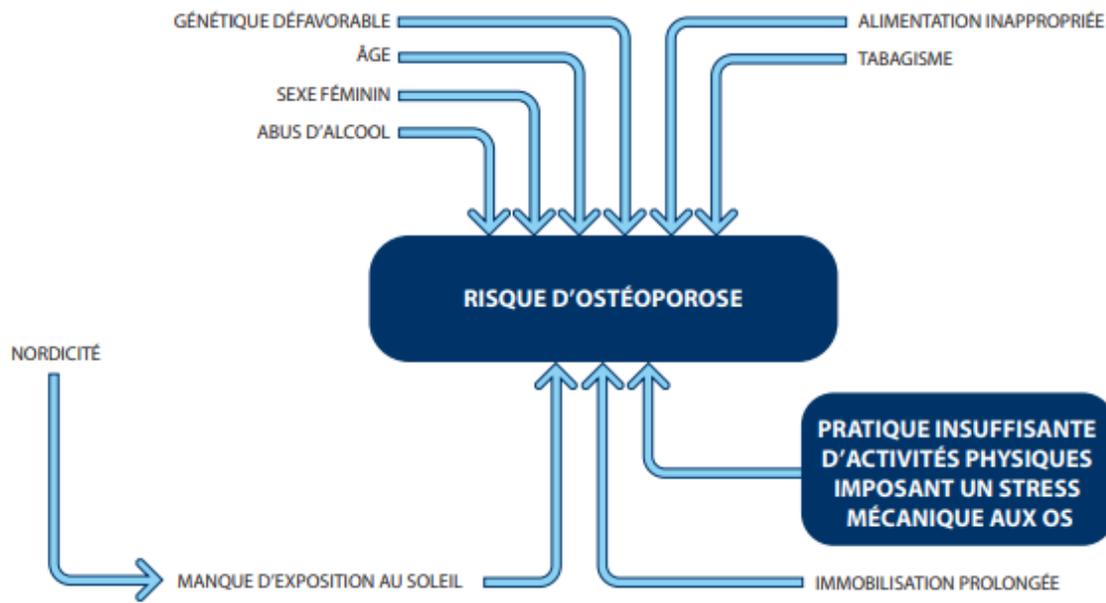


Figure 1.7 : Certains facteurs de risque de l'ostéoporose (Blanchet, 2008)

1.3 Réponse Osseuse Adaptative aux Contraintes Mécaniques de l'Exercice

Les preuves issues des études animales et humaines indiquent que les signaux mécaniques de l'exercice sont anabolisants et anti-cataboliques pour le tissu osseux, ce qui bénéficie à la fois la quantité et la qualité de l'os (Rubin et coll., 2008). Le phénomène général des réponses osseuses aux contraintes mécanique comprend deux phases essentielles : 1) la mécanotransduction, processus par lequel les cellules de l'os perçoivent les forces, 2) l'activation de l'ostéogénèse pour induire une réponse ostéogénique.

En général, les stimulus mécaniques proviennent des forces de la contraction musculaire et/ou de la force gravitaire. Par conséquent, il est très difficile d'isoler une forme de l'autre dans la majorité des exercices physiques (Pearson & Lieberman, 2004).

Lorsqu'un os est soumis à une contrainte, les cellules osseuses subissent un mouvement de liquide interstitiel des régions de haute pression vers les régions de basse pression à travers les canalicules entourant les ostéocytes, induisant une force de cisaillement et une déformation de la membrane cellulaire (Bonewald, 2006). La charge induit également une

pression dans la cavité intramédullaire, des forces de cisaillement à travers les canalicules et des champs électriques dynamiques lorsque le liquide interstitiel s'écoule vers les canaux de Havers et Volkman [figure 1.8].

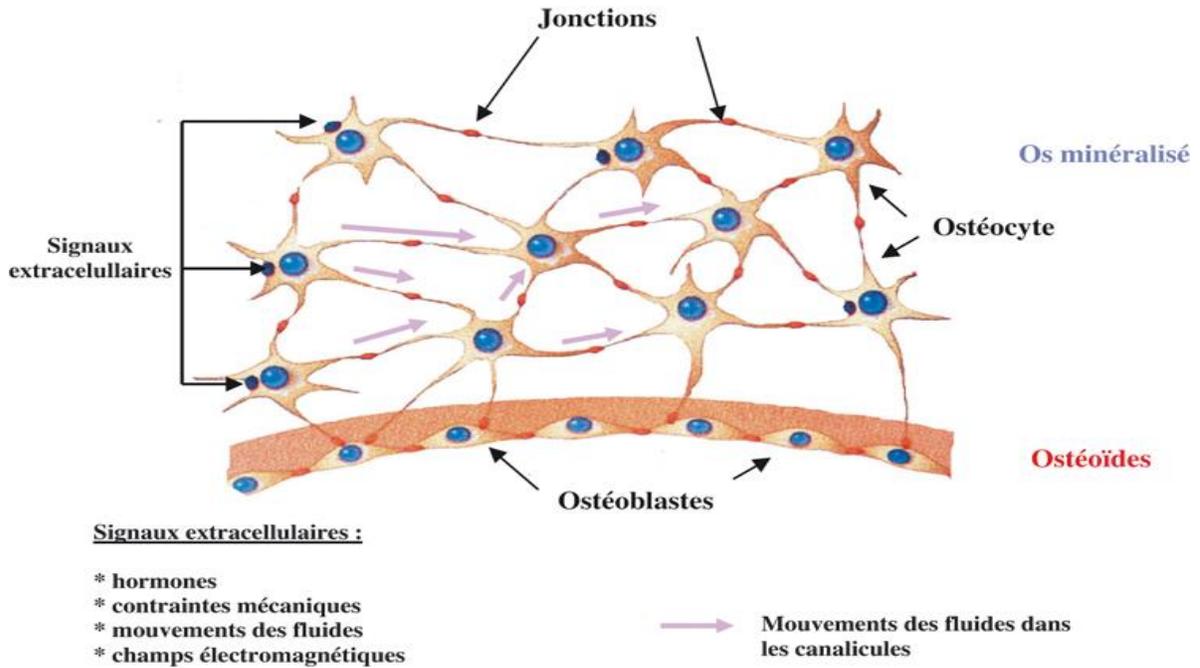


Figure 1.8 : La Mécano Transduction Osseuse

(<http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/97/c11-4.jpg>)

Une fois qu'un os subit un certain niveau de contrainte suffisant, la prochaine étape de toute réponse osseuse à une contrainte mécanique est l'activation des cellules ostéogéniques pour adapter les os à une nouvelle charge par une activité de remodelage adéquate (Pearson & Lieberman, 2004). Les ostéocytes activés jouent un rôle essentiel pour déclencher le travail des ostéoblastes et des ostéoclastes (Rubin et coll., 2008). Ils engendrent également une réponse chimique en réduisant le taux de la sclérotine qui possède des effets négatifs sur le tissu osseux (Robling et coll., 2006).

De même, les cellules stromales de la moëlle modifient la prolifération et l'expression des gènes en réponse à la stimulation mécanique (Li et al., 2004), et la régulation mécanique de l'expression de RANKL (Rubin et al., 1999), ce qui affecte le nombre et la fonction des ostéoclastes. L'ostéoclaste répond également aux signaux mécaniques en limitant la résorption osseuse (Duncan et al., 1992).

De plus, l'activité physique engendre des modifications hormonales avec activation des tissus endocriniens, notamment les muscles et la masse grasse, ce qui affecte indirectement le métabolisme osseux (Lombardi et coll., 2016).

1.3.1 Principes d'Action de l'Activité Physique sur la Densité Minérale Osseuse

Afin d'expliquer les effets de l'activité physique sur la masse osseuse, 5 principes ont été proposés par le collègue américain de médecine du sport (ACSM) lors de la planification des programmes d'entraînement physique (Kohrt et coll., 2004) :

La spécificité : Une adaptation osseuse positive est observée uniquement au niveau des sites osseux qui subissent des contraintes mécaniques locales, ce qui explique chez les joueurs de tennis la présence d'une différence significative au niveau de la géométrie osseuse entre le bras dominant et le bras non dominant (Ducher et coll., 2009).

La surcharge : La charge d'entraînement qui dépasse le niveau des contraintes habituelles imposé sur l'os permet d'engendrer une réponse ostéogénique significative. Cependant, il faudra augmenter cette charge de manière progressive afin d'obtenir des gains osseux.

La réversibilité : L'arrêt de la pratique d'activité sportive peut induire des effets néfastes sur le métabolisme osseux suite à la diminution des forces mécaniques appliquées sur le squelette. Ainsi, il reste difficile de déterminer l'intensité et le volume de la pratique sportive qui permettent le maintien de la DMO.

Le capital de départ : En général, les bénéfices susceptibles d'être atteints en réponse à un entraînement physique sont plus élevés chez les sujets ayant une DMO de départ faible. A l'inverse, la DMO de départ élevée limite les gains de DMO associés à l'entraînement physique.

L'entraînabilité : la valeur maximale de la DMO qui peut être atteinte suite à un entraînement physique est affectée par des facteurs génétiques et diffère largement selon les individus. La progression potentielle du sujet est ainsi déterminée par cette valeur « plafond ».

1.3.2 Principes de Burr, Robling et Turner

Burr et coll. (2002) ont énoncé 3 règles générales liées à l'adaptation ostéogénique à l'entraînement physique :

- Les contraintes dynamiques génèrent une réponse osseuse significative suite au changement dans les rythmes des déformations osseuses appliquées sur le tissu osseux (Turner, 1998). Par contre, les contraintes statiques n'engendrent pas de réponses ostéogéniques.
- Le prolongement excessif de la durée des contraintes mécaniques peut parfois diminuer la réponse ostéogénique. Par contre, les séances d'entraînement de courte durée permettent d'engendrer une réponse osseuse plus adaptée. Ainsi, afin d'optimiser les réponses osseuses, il faut respecter le temps de récupération entre les exercices (quelques minutes) ou entre deux séances d'entraînement (4 à 8 heures).

La réponse osseuse est plus importante après un exercice à contraintes biomécaniques élevées d'une courte durée qu'après un exercice à contraintes biomécaniques faibles d'une durée élevée. Les cellules osseuses s'habituent rapidement aux contraintes mécaniques, au type et à l'intensité des exercices, ce qui entraîne une stagnation de la réponse osseuse. Alors, il est nécessaire de modifier les exercices physiques avec le temps pour s'assurer de ne pas atteindre un plateau.

1.4 Effets de l'Entrainement Physique sur les Paramètres Osseux des Sujets Âgés

1.4.1 Effets de l'Entrainement de Force

L'activité physique peut aider à lutter contre la perte osseuse qui constitue un phénomène universel avec le vieillissement, ce qui va diminuer le risque de fracture ostéoporotique. En effet, la plupart des études et des méta-analyses effectuées ont montré que l'entraînement de résistance à intensité élevée permet de maintenir voire même d'améliorer la masse osseuse au niveau de la colonne lombaire et de la hanche chez les sujets âgés après 1 an d'intervention. Ces études sont représentées dans le tableau 1.3.

Tableau 1.3 : tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement de force sur les paramètres osseux des sujets âgés

Auteurs (année)	Participants (nombre)	Age	Durée d'entraînement	Méthode	Sites osseux mesurés	Résultats
Nelson et coll. (1994)	EF :20 C :19 Femmes âgées	50-70 ans	1 an	3 séries de 8 rep de 5 ex. de renforcement avec 80% 1 RM	DMO CL et CF CMO CE	EF : ↑ de la DMO de 0.9% CF, 1.0% CL, pas de changement du CMO CE C : ↓ de la DMO de 2.5% CF, 1.8% CL, pas de changement du CMO CE
Pruit et coll., (1995)	HI (high intensity): 8	65-79 ans	1 an	HI : 1 série de 14 rep des ex. MS et MI avec 40% 1-	DMO CL, CF et HT	Pas de changement significatif dans les 3 groupes

	LI (low intensity): 7 C : 11 Femmes âgées			RM, suivie par 2 séries de 7 rep avec 80% 1-RM LI : 3 séries de 14 rep des ex. MS et MI avec 40% 1 RM		
Rhodes et coll. (2000)	EF : 20 C : 18 Femmes âgées	68.8 ans	1 an	3 séries de 8 rep des ex. MS et MI avec 75% 1 RM	DMO CL et CF	Pas d'amélioration significative de la DMO après l'entraînement
Kerr et coll. (2001)	EF : 42 EA : 42 C : 42 Femmes	55 – 68 ans	2 ans	EF : 5 ex. MS, 2 ex. MI EA : 40 sec d'activité aérobie	DMO CE, CL, H et avant-bras	EF : ↑ significative de 1.1% de la DMO région inter trochantérienne, de 0,9% de la DMO H Pas de changement de la DMO CE, CL et avant-bras EA : pas de changement C : pas de changement
Daly et coll. (2005)	EF : 16 C : 13 hommes et femmes en surpoids, ayant un diabète de type 2	60 - 80 ans	12 mois	6 mois de musclature : 75–85% 1 RM 6 mois à domicile : 60–80% 1 RM, avec 6 ex. MS, 1	CMO et DMO du CE, CL et CF	0-6 mois : EF : pas de changement C : ↓ 1.5% CMO CE, 0.9% DMO CE, pas de changement CMO et DMO du CL et CF 6-12 mois :

				ex. MI, 1 ex. du tronc		EF : pas de changement C : ↓ 0.6% DMO CE, pas de changement CMO et DMO du CL et CF, CMO du CE
de Matos et coll. (2009)	EF : 30 C : 29 femmes ostéopéniques et ostéoporotiques	45 – 65 ans	12 mois	3 ex. MS, 7 ex. MI avec un poids de 1 à 4 kg	DMO H, CL	EF : ↑ 1.17% DMO CL C : ↓ 2.26% DMO CL, pas de changement DMO H
Bocalini et coll. (2009)	EF : 15 C : 10 Femmes	57-75 ans	24 semaines	50-85% 1 RM 6 ex. du MS, 5 ex. du MI, 1 ex. du tronc	DMO CF, CL	EF : maintien de la DMO C : ↓ de 0,98% de la DMO CL et de 1,58% de la DMO CF
Chuin et coll. (2009)	EF : 11 EF et Supplémentation : 8 Supplémentation : 8 C : 7	61-73 ans	6 mois	3 series de 8 rep des ex. du MI et MS (leg press, leg extension, bench press, shoulder press, sit up, seated row, triceps extension, biceps curl)	DMO CF, CL	EF ; EF et Supplémentation ; Supplémentation : pas de changement C : ↓ significative du DMO CL
Marques et coll. (2011)	EF :23 EA : 24 C : 24 Femmes âgées	60 – 95 ans	8 mois	EF : 2 séries de 6-8 rep des ex. de tout le corps avec 75-80% de 1-RM	DMO au niveau de la HT, trochanter, région inter	↑ significative de la DMO de 2,9% trochanter et de 1,5% HT après l'entraînement de force

				EA : 35 – 40 min des activités aérobies (65 – 85% fréquence cardiaque)	trochantérien et CF	
Bemben et bemben (2011)	79 femmes 45 hommes	55 – 74 ans	40 semaines	Intensité élevée (80% 1-RM) ou intensité modérée (40% 1-RM)	DMO CL, CE et fémur proximal	↑ de la DMO CL et fémur proximal Pas de changement au niveau du CE
Nasr et coll. (2019)	EF : 22 EA : 22 EC : 21 C : 22 Hommes et femmes âgés	65-75 ans	1 an	EF : 3 séries de 10 rep des ex. MS et MI avec 70-75% de 1-RM EA : 1 heure de marche rapide avec changement de direction (65-75% fréquence cardiaque) EC : 1 heure d'entraînement de force et 1 heure d'entraînement d'endurance	DMO CL, CE, HT et CF	EF : ↑ les plus élevées des valeurs de la DMO sur tous les sites EA : ↑ significative de la DMO uniquement au niveau lombaire EC : ↑ significative de la DMO CL et CE C : ↓ significative des valeurs de la DMO sur tous les sites

EF : sujets d'entraînement de force ; EA : sujets d'entraînement aérobie ; EC : sujets d'entraînement combiné de force et d'endurance ;
C : sujets de groupe control ; HI : high intensity ; LI : low intensity ; ex. : exercices ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur ;
1-RM: répétition maximale ; DMO : densité minérale osseuse ; CMO : contenu minéral osseux ; CL: colonne lombaire ; CF : col fémoral ;
CE : corps entier ; H : hanche ; HT: hanche totale ; rep : répétitions ; ↑: augmentation ; ↓: diminution.

1.4.2 Effets de l'Entrainement Pliométrique

Plusieurs études ont étudié les effets de l'entraînement pliométrique sur la densité minérale osseuse. Snow et coll (2000) ont montré une amélioration de la DMO au niveau du col fémoral et de la hanche totale après une période de 5 ans d'application d'exercices de saut et de renforcement des membres inférieurs chez des sujets âgés de 63 à 66 ans. Par contre, d'autres études n'ont pas trouvé une différence significative entre le groupe d'entraînement pliométrique et le groupe control. Le résumé de ces études longitudinales est présenté dans le tableau 1.4.

Tableau 1.4 : tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement pliométrique sur les paramètres osseux des sujets âgées

Auteurs (année)	Participants (nombre)	Age	Durée d'entraînement	Méthode	Sites osseux mesurés	Résultats
Bassey et coll. (1995)	E Ply : 45 C: 32 Femmes	51 – 59 ans	12 mois	5 séries de 10 sauts verticaux avec 8.5cm de hauteur pour 6 jours par semaine	DMO CL et fémur proximal (CF, trochanter)	Aucune différence significative entre les 2 groupes
Shaw et coll. (1998)	E Ply : 18 C : 22	50-75 ans	9 mois	Marche avec un gilet lesté Ex. de sauts Ex. de puissance du MI	DMO CF	Pas de changement significatif de la DMO CF pour les 2 groupes

Snow et coll (2000)	E Ply : 9 C : 9	63 – 66 ans	5 ans	Marche avec un gilet lesté Ex. de sauts Ex. de renforcement du MI	DMO CF, HT et trochanter	E Ply : ↑ de la DMO au niveau des sites mesurés C : ↓ de la DMO au niveau des sites osseux mesurés
Newstead et coll. (2004)	E Ply: 23 C: 26	50 - 65 ans	12 mois	25 – 200 sauts par session 3 fois par semaine	DMO CF, HT et CL	Pas d'amélioration de la DMO après l'entraînement
Korpelainen et coll. (2006)	T: 68 C: 65	70 – 74 ans	30 mois	Sauts et ex. d'équilibre	DMO et CMO CF, trochanter et HT DMO poignet BUA et SOS calcanéum	↓ de la DMO CF et trochanter dans le groupe C Perte osseuse significative au niveau du poignet et calcanéum dans les 2 groupes ↓ du CMO trochanter plus importante dans le groupe témoin

E Ply : sujets d'entraînement pliométrique ; C : sujets de groupe control ; HI : high intensity ; LI : low intensity ; ex. : exercices ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur ; 1-RM : répétition maximale ; DMO : densité minérale osseuse ; CMO : contenu minéral osseux ; CL : colonne lombaire ; CF : col fémoral ; CE : corps entier ; H : hanche ; HT : hanche totale ; BUA : broadband ultrasound attenuation ; SOS : speed of sound ; ↑ : augmentation ; ↓ : diminution.

1.4.3 Effets de l'Entrainement de Vibration

L'application de vibration corporelle peut réduire la perte osseuse au niveau de la hanche et de la colonne vertébrale. De plus, cette technique a montré son efficacité pour inhiber le déclin de la DMO surtout chez les femmes âgées qui ont des niveaux initiaux de DMO faibles. Le tableau 1.5 présente un résumé des études longitudinales de la pratique d'entraînement de vibration chez la population âgée.

Tableau 1.5 : tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement de vibration sur les paramètres osseux des sujets âgées

Auteurs (année)	Participants (nombre)	Age	Durée d'entraînement	Méthode	Sites osseux mesurés	Résultats
Rubin et coll. (2004)	EV : 28 C : 28 Femmes âgées ménopausées	47 – 64 ans	1 an	EV : 20 minutes d'une vibration de faible niveau (0,2 g, 30 Hz) appliquée en position debout C : même durée d'entraînement sur des appareils placebo	DMO du CL, fémur et poignet	EV : ↓ de 0,69% de la DMO CF, de 0.07% de la DMO trochanter et de 0.51% de la DMO CL C : ↓ de 0.27% de la DMO CF, de 0.19% de la DMO trochanter et de 0.65% de la DMO CL Cette technique peut être efficace pour inhiber le déclin de la DMO CL chez les femmes qui ont

						des niveaux initiaux de DMO faibles
Verschueren et coll. (2004)	EV : 25 EF : 22 C : 23 Femmes	58 – 74 ans	6 mois	EV : a effectué des ex. d'extension du genou statique et dynamique sur une plateforme vibrante (35-40 HZ, 2.28-5,09g) EP : a effectué des ex. de leg presse et d'extension du genou avec une résistance faible puis élevée	DMO fémur	EV : ↑ significative de la DMO au niveau du fémur (+0.93%) EF ; C : pas de changement significatif de la DMO fémorale (-0.60% et -0.62%, respectivement)
Ruan et coll. (2008)	EV : 51 C : 43 Femmes ostéoporotique	53 – 69 ans	6 mois	EV : debout sur la plate-forme de vibration, avec une fréquence de vibration de 30 Hz, une amplitude de 5 mm ; 5x10 semaine/minutes.	DMO du CL et CF	EV : ↑ significative de 4,3% DMO CL et de 3,2% DMO CF C : ↓ significative de 1,9% DMO CL et de 1.7% DMO CF
Beck et Norling (2010)	HI : 15 LI : 13	60 – 80 ans	8 mois	2 fois/semaine d'entraînement de vibration	CMO et DMO CE, CF, trochanter, CL et avant-bras	↓ significative du CMO trochanter et CL dans le groupe témoin

	C : 14 Femmes			<p>HI : Debout, les genoux légèrement fléchis, vibration avec une fréquence de 30 Hz et une intensité de 0.3g, 2x3 minutes, récupération 1 minute</p> <p>LI : Debout pendant 15 minutes en extension complète du genou, vibration avec une fréquence de 12.5 Hz et une intensité de 1g</p>	<p>(partie proximale) par DEXA</p> <p>BUA du calcanéum avec l'échographie quantitative du talon</p>	<p>L'intervention n'a pas provoqué des effets détectables sur les mesures osseuses des participantes</p> <p>Huit mois d'entraînement de vibrations corporelles peuvent réduire la perte osseuse au niveau de la hanche et de la colonne vertébrale et améliorer la fonction musculaire des membres inférieurs.</p>
Slatkovska et coll. (2011)	<p>EV à 90 Hz : 67</p> <p>EV à 30 Hz : 68</p> <p>C : 67</p>	53 - 68 ans	12 mois	<p>2 groupes d'entraînement, debout sur une plateforme de vibration de faible magnitude (0.3g), fréquence de 90 Hz pour le premier groupe et de 30 Hz pour le 2ème. 20 minutes par jour</p>	<p>DMO volumétrique trabéculaire et autres mesures du tibia et du radius distal par une tomодensitométrie quantitative périphérique</p>	<p>Aucun effet significatif sur les résultats osseux pour les groupes d'entraînement par rapport au groupe témoin</p>

				Toutes les participantes ont reçu une dose du calcium et de la vitamine D	DMO surfacique CL, CF et HT par DEXA	
Stengel et coll. (2011)	EVR : 29 EVV : 34 C : 33 Femmes	62 – 69 ans	12 mois	EVR : fréquence de 12,5 Hz, 12 mm, trois x semaine, 15 minutes + exercices de squat dynamique EVV : fréquence de 35 Hz, 1,7 mm, trois x semaine, 15 minutes + exercices de squat dynamique	DMO CL et CF Mesure de la force d'extension isométrique maximale des jambes et de la puissance des jambes	↑ de DMO au niveau du rachis lombaire dans les deux groupes de vibration, significatif seulement pour le groupe EVR par rapport au groupe témoin Les valeurs de la DMO CF avaient tendance à augmenter dans les deux groupes d'entraînement ↑ significative de la force maximale des jambes dans les groupes EVR et EVV Pas de changement significatif de la puissance des jambes dans tous les groupes
Zaki (2014)	80 femmes ménopausées obèses		Huit mois	1) Entraînement vibratoire à haute fréquence	Mesures de la DMO, de l'IMC et des paramètres de force	La DMO a augmenté au niveau du rachis lombaire et de la hanche dans les deux groupes

				2) Entraînement de résistance		L'entraînement vibratoire à haute fréquence augmente la DMO chez les femmes obèses
--	--	--	--	-------------------------------	--	--

EV : sujets d'entraînement de vibration ; EVR : entraînement de vibration rotatoire ; EVV : entraînement de vibration verticale ; EF : sujets d'entraînement de force ; C : sujets de groupe control ; ex. : exercices ; HI : high intensity ; LI : low intensity ; DMO : densité minérale osseuse ; CMO : contenu minéral osseux ; CL : colonne lombaire ; CF : col fémoral ; CE : corps entier ; H : hanche ; HT : hanche totale ; BUA : broadband ultrasound attenuation ; ↑ : augmentation ; ↓ : diminution.

1.4.4 Effets de l'Entraînement de Puissance

À ce jour, peu d'études d'intervention ont utilisé l'entraînement de puissance pour lutter contre la perte osseuse chez les personnes âgées. Cependant, la plupart d'entre elles ont montré un maintien ou une augmentation de la DMO au niveau de la hanche et de la colonne lombaire, en particulier chez les femmes âgées saines ou ostéoporotiques. Le tableau 1.6 résume plusieurs études longitudinales liées à la pratique de l'entraînement de puissance et à son effet sur la densité minérale osseuse.

Tableau 1.6 : tableau récapitulatif des études longitudinales concernant les effets de l'entraînement de puissance sur les paramètres osseux des sujets âgés

Auteurs (année)	Participants (nombre)	Age	Durée d'entraînement	Méthode	Sites osseux mesurés	Résultats
Stengel et coll. (2005)	EP : 21 EF : 21 Femmes âgées entraînées	54 – 61 ans	12 mois	Le protocole alternait 12 semaines à intensité élevée (70-90% du 1RM) puis 5 semaines à intensité modérée (50% du 1RM) La phase concentrique s'effectue aussi vite que possible dans EP	DMO CL, haut du fémur et poignet	EP : maintien de la DMO CL et HT EF : ↓ significative DMO au niveau CL et HT
Stengel et coll. (2007)	EP :22 EF :24 Femmes	54 – 63 ans	2 ans	Le protocole alternait 12 semaines à intensité élevée (70-90% du 1RM) et 5 semaines à intensité modérée (50% du 1RM) La phase concentrique s'effectue aussi vite que possible dans EP	DMO CL, fémur proximal (HT, CF, trochanter, intertrochanter) et poignet	EP : maintien de la DMO au niveau des sites mesurés EF : ↓ significative de la DMO au niveau CL, CF et HT ; pas de changement au niveau du poignet

Mosti et coll. (2013)	EP : 8 C : 8 Femmes ostéopéniques ou ostéoporotique	56 – 73 ans	12 semaines	Squat machine 4 séries de 3-5 rep avec 85-90% de 1 RM La partie concentrique du mouvement s’effectue le plus rapidement possible	DMO et CMO du CL, CF et HT	↑ de 2,9% du CMO CL et de 4,9% du CMO CF
Hamaguchi et coll. (2017)	EP : 7 C : 8 Femmes sarcopéniques	58 – 63 ans	6 semaines	Faible charge, basse rep (3) des ex. du MI (squats, front lunges, side lunges, calf raises, and toe raises)	DMO CE, MS, MI, CL et bassin	1,6% d’↑ de la DMO bassin
Aquino et coll. (2020)	1 Femme ostéoporotique	70 ans	12 mois	3 séries de 60 secondes des ex. du MS et MI avec maximum de répétition possible	DMO CL et CF	↑ de 24% de la DMO CL et de 29% de la DMO CF

EF : sujets d’entraînement de force ; EP : sujets d’entraînement de puissance ; C : sujets de groupe control ; ex. : exercices ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur ; 1-RM : répétition maximale ; DMO : densité minérale osseuse ; CMO : contenu minéral osseux ; CL : colonne lombaire ; CF : col fémoral ; CE : corps entier ; H : hanche ; HT : hanche totale ; rep : répétitions ; ↑ : augmentation ; ↓ : diminution.

1.5 La Performance Physique et le Tissu Osseux de la Personne Âgée

1.5.1 Etudes Transversales Évaluant les Relations entre la Force Musculaire Maximale et les Paramètres Osseux chez les Personnes Âgées

Plusieurs études transversales ont étudié les relations entre la force musculaire maximale et les paramètres osseux chez les sujets âgés (Tableau 1.7). La DMO des sites porteurs (H et CF) était positivement associée au 1-RM développé couché et 1-RM leg press, en particulier chez les femmes âgées. Cependant, cette association a été expliquée par des mesures de la masse maigre. Le 1-RM handgrip était corrélé au moment d'inertie de la section transversale (CSMI) et à la surface transversale (CSA). D'autre part, Le rapport de graisse A/G (androïde/gynoïde) a montré une association positive avec la DMO de la colonne lombaire.

Tableau 1.7 : tableau récapitulatif des études transversales évaluant les relations entre la force musculaire maximale et les paramètres osseux chez les personnes âgées

Auteurs (année)	Population	Méthode	Résultats	Conclusion
Nasr et coll., (2018)	35 femmes âgées entre 65 et 75 ans (68,1 ± 3,1 ans)	La DMO du CE, du rachis lombaire (L1-L4), de la HT, du CF, du TBS L1-L4 et les indices de géométrie de la hanche La force musculaire maximale (1-RM) du développé couché, leg	Le 1-RM développé couché était positivement corrélé à la DMO HT (r = 0,40 ; p < 0,05), à la DMO CF (r = 0,41 ; p < 0,05), au module de section Z CF (r = 0,33 ; p < 0,05) et à la CSMI CF (r = 0,35 ; p < 0,05).	Le 1-RM développé couché et le 1-RM leg press sont des déterminants positifs de la DMO chez les femmes âgées

		<p>press et handgrip ont été mesurées</p>	<p>Le 1-RM leg press était positivement corrélé à la DMO HT ($r = 0,50$; $p < 0,01$), la DMO CF ($r = 0,35$; $p < 0,05$), la section transversale CSA CF ($r = 0,38$; $p < 0,05$) et le TBS L1-L4 ($r = 0,37$; $p < 0,05$).</p> <p>Le 1-RM handgrip était corrélé uniquement au moment d'inertie de la section transversale CSMI CF ($r = 0,43$; $p < 0,01$)</p>	
Edwards et coll., (2013)	313 hommes et 318 femmes	<p>La force musculaire a été mesurée par la force de préhension</p> <p>Un examen par tomographie quantitative périphérique (pQCT) du mollet et de l'avant-bras a été effectué pour évaluer la section transversale musculaire (mCSA) et la structure osseuse</p>	<p>La force de préhension a montré des associations similaires avec la taille et la force des os dans les deux sexes.</p>	<p>La force de préhension est associée à la taille et à la force des os</p>

Dixon et coll., (2005)	1265 hommes et 1380 femmes	<p>La force de préhension a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre.</p> <p>Les personnes recrutées ont subi des mesures de la DMO au niveau de la CL et du CF</p>	<p>La DMO était significativement plus faible au niveau de la CL et du CF chez les hommes et les femmes ayant une faible force de préhension par rapport à ceux ayant une force normale.</p>	<p>Une faible force de préhension est associée à une faible DMO au niveau de la CL et du CF et à un risque accru de fracture vertébrale.</p>
McLean et coll., (2021)	Personnes âgées 508 hommes et 651 femmes	<p>Tomodensitométrie périphérique quantitative à haute résolution (HR-pQCT) pour déterminer l'association entre la force de préhension et la densité osseuse, la taille, la morphologie et la microarchitecture du radius distal.</p>	<p>Une force de préhension plus élevée était associée à une plus grande surface transversale (CSA) chez les hommes et les femmes</p> <p>L'épaisseur corticale était positivement associée à la force de préhension chez les hommes uniquement ($p = 0,03$). La force de préhension n'était pas associée à la DMO volumétrique (DMOv) chez les hommes.</p> <p>À l'inverse, il y avait une tendance à une DMOv totale plus faible avec une force de préhension plus élevée chez les femmes ($p = 0,02$)</p>	<p>Les résultats suggèrent que l'association positive entre la force de préhension de la main et la force osseuse du radius distal peut être principalement due à la taille de l'os.</p>

			La microarchitecture osseuse (porosité corticale, épaisseur trabéculaire, nombre trabéculaire) n'était pas associée à la force de préhension chez les hommes ou les femmes	
Kapus, Gaba et Lehnert (2020)	58 femmes (âgées de 62,1 ± 4,8 ans)	<p>Le CE, le fémur proximal gauche, la DMO de la CL et les paramètres de composition corporelle ont été mesurés par DEXA.</p> <p>La force de flexion et d'extension isocinétique de la jambe dominante a été mesurée à 60 degrés/s.</p> <p>La force de préhension a été mesurée sur le membre supérieur dominant</p>	<p>La MG était positivement associée à la DMO du fémur proximal ($\beta = 0,31$; $P < 0,05$), tandis que la MM totale du corps et la MMA n'étaient liées à la DMO sur aucun site.</p> <p>La force isocinétique dominante n'était pas liée à la DMO à aucun site.</p> <p>Le rapport de graisse A/G (androïde/gynoïde) montre une association positive avec la DMO de la CL</p>	<p>Association positive entre la DMO du fémur proximal et la MG corporelle, mais pas entre la DMO et la MM totale du corps, la MMA ou la force isocinétique.</p> <p>Le rapport de graisse A/G et l'IMC ont montré une association positive avec la DMO de la CL et la DMO du fémur proximal, respectivement</p>
Blain et coll., (2001)	56 femmes âgées de 60 à 81 ans	La relation entre la force isocinétique du quadriceps mesurée par	La force du quadriceps était fortement associée à la DMO	Les résultats suggèrent un effet spécifique au site de la force musculaire sur les os et

		<p>Biodex et la DMO mesurée par DEXA</p>	<p>du CF. Mais, elle n'était pas associée à la DMO du RL.</p> <p>La force du quadriceps explique une grande partie de l'association entre la MM et la DMO au niveau du CF mais pas au niveau du RL.</p>	<p>un rôle potentiel du déclin de la force musculaire lié à l'âge dans la perte osseuse liée à l'âge chez les femmes ménopausées.</p>
<p>Pasco et coll., (2015)</p>	<p>863 femmes âgées de 26 à 97 ans</p>	<p>Les mesures de la force des fléchisseurs et des abducteurs de la hanche ont été effectuées à l'aide d'un dynamomètre portatif.</p> <p>La DMO a été mesurée à la hanche (DEXA ; Lunar DPX-L)</p> <p>Des techniques de régression linéaire ont été utilisées avec la force musculaire comme variable indépendante et la DMO comme variable dépendante.</p>	<p>Les mesures de la force des fléchisseurs de la hanche et de la force des abducteurs de la hanche ajustées à l'âge étaient positivement associées à la DMO de la HT.</p> <p>Pour chaque augmentation de l'écart type de la force des fléchisseurs de la hanche, l'augmentation de la DMO moyenne de la HT (ET) était de 10,4 % (p = 0,009). Une tendance similaire a été observée pour la force des abducteurs de hanche, avec une augmentation de la DMO moyenne de la HT de 22,8 % (p = 0,025).</p> <p>Toutes les associations entre la force musculaire de la</p>	<p>Une association positive a été observée entre la force musculaire et la DMO de la hanche. Cependant, cette association a été expliquée par des mesures de la masse maigre.</p>

			hanche et la DMO de la HT étaient indépendantes de la taille, mais ont été annulées après ajustement pour la MMA ou la MM totale.	
Elhakeem et coll. (2019)	241 femmes âgées de plus de 70 ans	<p>La DMO de la HT et du CF, la géométrie de la hanche et la masse maigre totale du corps ont été évaluées par DEXA.</p> <p>La force musculaire maximale et la puissance musculaire des membres inférieurs ont été évaluées par la mécanographie de saut.</p> <p>La force de préhension, la vitesse de marche et le temps de se relever de la chaise ont été mesurés objectivement.</p>	<p>La force musculaire maximale des membres inférieurs était positivement associée à la DMO de la hanche.</p> <p>Aucune association de la force de préhension, de la vitesse de marche, du temps de se relever de la chaise et de la puissance musculaire maximale avec les paramètres de la hanche n'a été trouvée.</p>	La masse maigre et la force musculaire maximale des membres inférieurs étaient associées à la DMO de la hanche chez les femmes ménopausées
Zhou et coll., (2013)	293 femmes âgées	La DMO totale, la DMO CL et la DMO CF ont été mesurées par DEXA	La force des extenseurs et des fléchisseurs de la hanche et la force de l'extension du dos représentaient 26 % de la variance de la DMO totale	La réduction de la force musculaire est liée à la perte de DMO

		La force musculaire isocinétique et isométrique des muscles de la hanche et du tronc a été mesurée	chez les sujets ménopausés, 19 % de la variance de la DMO L2-4 et 15 % de la variance de la DMO CF	
Bayramoğlu et coll., (2004)	62 femmes âgées entre 41 et 76 ans	<p>La force musculaire des hanches et du tronc ont été mesurées par dynamométrie isocinétique.</p> <p>La force de préhension de la main non dominante a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre portatif.</p> <p>La DMO du RL, du fémur et du radius distal ont été mesurées par DEXA</p>	<p>La corrélation entre la force des abducteurs de hanche et la DMO fémorale était significative (P = 0,009, r = 0,327).</p> <p>Il n'y avait pas de corrélation entre la force musculaire du tronc et la DMO CL, de même entre la force de préhension et la DMO du radius distal</p>	<p>En conclusion, les résultats indiquent que la force isocinétique des abducteurs de hanche est faiblement corrélée à la DMO fémorale chez les femmes ménopausées avec et sans ostéoporose.</p> <p>La force musculaire du tronc n'était pas corrélée à la DMO CL</p>
Ahedi et coll., (2014)	321 sujets âgés entre 50 et 80 ans	<p>La DMO de la HT, du CF et de la CL a été mesurée par DEXA</p> <p>La force musculaire des membres inférieurs a été évaluée par un dynamomètre</p>	<p>La DMO de la HT était associée à la force musculaire</p> <p>De plus, la DMO de la CL a montré une faible association avec la force musculaire</p>	<p>La force des membres inférieurs était faiblement associée à la DMO</p> <p>Le volume musculaire et la force musculaire sont des déterminants positifs de la DMO et ils contribuent au</p>

			L'association entre la DMO du CF et la force musculaire n'a pas atteint des valeurs statistiques significatives.	maintien de la DMO avec l'avance en âge
Marin et coll. (2010)	117 femmes ménopausées	Mesures de la force de préhension et de DMO	La force de préhension était positivement corrélée à la DMO du CL ($r = 0,49$; $p < 0,001$), à la DMO du CF ($r = 0,56$; $p < 0,001$) et la DMO du CE ($r = 0,52$; $p < 0,001$)	La stratégie d'augmenter la force musculaire est intéressante dans le domaine de la prévention de l'ostéoporose féminine

DMO : densité minérale osseuse ; CMO : contenu minéral osseux ; CL : colonne lombaire ; CF : col fémoral ; CE : corps entier ; HT : hanche totale ; MM : masse maigre ; MG : masse grasse ; MMA : masse maigre appendiculaire ; CSMI : Cross-Sectional Moment of Inertia ; A : androïde ; G : gynoïde.

1.5.2 Études Transversales Évaluant les Relations entre la Puissance Musculaire et les Paramètres Osseux chez les Personnes Âgées

Plusieurs études transversales ont étudié la relation entre la puissance musculaire des jambes et les variables dépendantes de la DMO au niveau de la colonne vertébrale et de la hanche totale (Tableau 1.8). Elles ont montré que la puissance des jambes était associée à une augmentation de la DMO au niveau de la hanche totale, à la force vertébrale et à la section transversale (CSA) des membres inférieurs chez les hommes. De plus, la puissance musculaire a contribué de manière significative à la variance de la résistance osseuse estimée

chez les femmes (Ashe et coll., 2008). Par contre, d'autres études n'ont pas trouvé une association entre la performance du test de saut (la puissance et la hauteur de saut) et la densité ou la force osseuse (Singh et coll., 2017).

Tableau 1.8 : tableau récapitulatif des études transversales évaluant les relations entre la puissance musculaire et les paramètres osseux chez les personnes âgées

Auteurs (année)	Population	Méthode	Résultats	Conclusion
Zengin et coll., (2017)	301 hommes de 40 à 79 ans	Le CMO cortical, la section transversale, la surface corticale, le moment d'inertie de la section transversale et le CSMA ont été mesurés au niveau de la diaphyse du radius et du tibia à l'aide d'une tomodensitométrie quantitative périphérique. La force et la puissance de saut des membres inférieurs ont été mesurées à partir d'un seul saut effectué sur une plate-forme de force.	La force de saut était positivement associée aux résultats de l'os tibial : une force de saut supérieure d'un écart type était associée à une teneur minérale osseuse corticale significativement plus élevée de 3,1 %, une surface transversale de 4,2 %, une surface corticale de 3,4 % et un moment d'inertie transversal de 6,8 % (tous $P < 0,001$). La zone musculaire transversale (CSMA) du membre inférieur n'était pas associée aux résultats de l'os tibial.	La force et la puissance de saut sont négativement associées à l'âge chez les hommes. La mesure de la force de saut est plus fortement liée aux résultats osseux que le CSMA.

		<p>La force de préhension a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre.</p> <p>La force musculaire maximale (1-RM) du développé couché et du leg press ont été mesurées</p>	<p>La force de préhension et la CSMA du bras étaient positivement associées aux résultats de l'os diaphysaire du radius</p>	
Schwarz et coll., (2014)	hommes de 31 à 60 ans	L'association entre les variables indépendantes de la consommation maximale d'oxygène (VO ₂ max), la puissance des jambes et la force de préhension de la main, et les variables dépendantes DMO au niveau de la CL et de la HT ont été explorées	Associations significatives de VO ₂ max (p<0,0022) et de la puissance des jambes (p<0,011) avec la DMO de la HT	La force de préhension de la main et la puissance des jambes étaient associées à une augmentation de la DMO au niveau de la CL et de la HT chez les hommes.
Belavý et coll., (2016)	417 femmes âgées de 60 à 94 ans	Les tests de la performance neuromusculaire maximale (exercice de saut, test assis-debout, force de préhension) ont été évalués.	À tous les sites osseux mesurés par pQCT (radius, cubitus, tibia, péroné), un pourcentage plus élevé de variance totale dans les mesures de la masse osseuse, de la géométrie corticale et/ou de la résistance osseuse	La performance neuromusculaire maximale a une relation plus forte avec la masse osseuse de la jambe et de l'avant-bras et la géométrie corticale ainsi qu'avec le module de section proximale

		<p>La section transversale des muscles de l'avant-bras et du mollet, le CMO et la DMO ont été mesurés au niveau de la hanche et de la CL par DEXA.</p> <p>Des mesures volumétriques du CMO et DMO, la géométrie osseuse et le module de section à 4 % et 66 % de la longueur du rayon et à 4 %, 38 % et 66 % de la longueur du tibia par une tomographie quantitative périphérique ont été réalisés.</p>	<p>a été expliqué par la performance neuromusculaire maximale.</p> <p>Aucune différence évidente dans le pouvoir explicatif de la performance neuromusculaire n'a été observée pour le CMO mesuré par DXA par rapport à la DMO.</p> <p>Dans la régression multiple, la masse osseuse, la morphologie corticale et/ou la force sont restées significatives par rapport à la première composante principale des variables neuromusculaire.</p>	<p>de l'avant-bras qu'avec la DMO volumétrique.</p>
Singh et coll., (2017)	Soixante personnes âgées (55-75 ans)	<p>La force de la presse des jambes et la force de l'abduction bilatérale de la hanche ont été évaluées par un test de répétition maximale.</p> <p>La puissance et la hauteur de saut ont été évaluées par les</p>	<p>Après ajustement pour l'âge et le sexe, la force de la presse était positivement corrélée avec la DMO de la HT, la DMO du CF et Z (tous $P < 0,05$).</p> <p>De plus, la force de la presse a prédit la DMO de la HT ($P = 0,013$) et la DMO du CF (P</p>	<p>La force de la presse est positivement associée à la densité osseuse et à la résistance osseuse dans la population âgée</p>

		<p>performances du test de saut.</p> <p>L'indice de masse musculaire squelettique (SMI), la DMO de la HT, la DMO du CF, la DMO de la CL, le module de section (Z), le moment d'inertie de la section (CSMI) et l'indice de résistance osseuse (BSI) ont été déterminés par DXA</p>	<p>= 0,021), après ajustement pour l'âge, le sexe et le SMI.</p> <p>Aucune association n'a été trouvée entre la performance du test de saut et la densité ou la force osseuse.</p>	
Ashe et coll. (2008)	74 femmes âgées de 65 à 75 ans	<p>Puissance musculaire et force d'extension des jambes à l'aide d'un équipement de résistance à la pression d'air Keiser.</p> <p>pQCT pour mesurer la résistance osseuse de la diaphyse tibiale (50 % du site) (indice de résistance-déformation, module de section).</p> <p>Ils ont utilisé les corrélations de Pearson et la régression linéaire</p>	<p>La puissance musculaire a contribué à 6,6 % ($p = 0,007$) de la variance de l'indice de force-déformation osseuse et à 8,9 % ($p = 0,001$) de la variance du module de section chez les femmes âgées après ajustement avec l'âge, la taille, le poids et l'activité physique des femmes.</p>	<p>La puissance musculaire a contribué de manière significative à la variance de la résistance osseuse estimée</p>

		<p>multiples pour étudier les associations entre les muscles et les os.</p>		
<p>Chalhoub et coll. (2018)</p>	<p>2857 hommes âgés de 65 ans ou plus</p>	<p>Association entre la MMA, la force de préhension et la puissance des jambes, et les paramètres de tomodynamométrie quantitative centrale (QCT).</p> <p>La MMA, la force de préhension et la puissance des jambes ont été mesurées respectivement par DEXA, le dynamomètre Jamar et le Nottingham Power Rig.</p>	<p>La MMA était significativement associée aux paramètres QCT centraux et périphériques.</p> <p>La force de préhension n'était significativement associée qu'aux paramètres périphériques de QCT.</p> <p>La puissance des jambes était associée à la force vertébrale et à la section transversale (CSA) du membre inférieure</p>	<p>Chez les hommes âgés, des associations plus fortes ont été observées entre les paramètres osseux et la masse maigre appendiculaire par rapport à la force et à la puissance musculaires</p>

DMO : densité minérale osseuse ; CMO : contenu minéral osseux ; CL : colonne lombaire ; CF : col fémoral ; CE : corps entier ; HT : hanche totale ; MMA : masse maigre appendiculaire ; VO₂max : consommation maximale d'oxygène ; SMI : skeletal muscle index ; BSI : bending strength index ; CSMI : cross-sectional moment of inertia ; CSA : cross sectional area ; DEXA : Dual-Energy X-ray absorptiometry.

1.5.3 La Taille d'Effet des Études d'Entraînement Physique sur la DMO du Col Fémoral et de la Colonne Lombaire

Avec le vieillissement, les fractures de la hanche et des vertèbres entraînent de graves complications telles que, une douleur chronique, une invalidité, une diminution de la qualité de vie et une augmentation des décès prématurés (Dhanwal et coll., 2011 ; Johnell et Kanis, 2005). Elles sont donc devenues un problème majeur et croissant à mesure que la population âgée augmente dans toutes les régions géographiques (Cooper et coll., 2011 ; Dhanwal et coll., 2011).

Au cours des dernières années, les méta-analyses des effets de l'exercice sur la masse osseuse se sont concentrées sur les femmes préménopausées et postménopausées qui sont les plus touchées par le phénomène d'ostéoporose (Kelley et coll. 2001 ; Martyn-St James et Carroll 2009 ; Martyn-St James et Carroll 2008). Les résultats ont confirmé que l'exercice peut avoir une influence positive sur le squelette, en augmentant ou en maintenant la DMO au niveau des sites de chargement, bien que le type d'exercice, les caractéristiques de chargement squelettique des différentes interventions d'exercice d'impact et le site osseux mesuré conduisent à des résultats contrastés. Les régimes de contraction utilisés sont ainsi isométriques, isocinétiques, concentriques, excentriques, pliométriques, l'électromyostimulation et les vibrations mais ne sont pas encore étudiés de manière suffisante chez la personne âgée.

L'entraînement physique a également un effet sur l'amélioration de la force musculaire, de l'équilibre et la réduction du risque de chute chez les patients âgés, mais les conclusions sont controversées sur l'amélioration de la DMO de différents sites osseux après un programme d'activité physique (Benedetti et coll., 2018).

Ainsi, dans le but d'améliorer les connaissances sur l'efficacité des modalités d'entraînement, cette partie s'intéresse à étudier la taille d'effet de différents types d'exercice qui ont un effet positif sur le système squelettique, notamment l'entraînement de résistance, de puissance, pliométrique et de vibration sur la DMO au niveau du col fémoral et de la colonne lombaire.

Méthodologie

A. Critères d'examen des études

Les critères d'inclusion pour cette partie étaient :

- (1) les essais contrôlés randomisés
- (2) les études qui utilisent l'exercice comme seule intervention
- (3) les personnes âgées de plus de 60 ans ou dont l'âge moyen est de 65 ans
- (4) les données pour une ou plusieurs des variables suivantes : DMO du rachis lombaire et DMO du col fémoral
- (5) études publiées dans des revues de langue anglaise
- (6) groupe témoin comparatif

Nous avons exclu les essais non contrôlés, les études transversales, l'étude de cas et les études menées sur les animaux. Nous avons également exclu les études dans lesquelles l'exercice était combiné à d'autres interventions ou traitements, tels que des médicaments anti-ostéoporotiques et des thérapies nutritionnelles ou hormonales, puisque les deux effets ne pouvaient pas être séparés.

De plus, les études sur les interventions d'exercice pour les personnes atteintes de maladies ou d'affections spécifiques ou présentant des handicaps physiques graves n'ont pas été incluses.

B. Méthodes de recherche pour l'identification des études

Une recherche documentaire informatisée des bases de données MEDLINE, PubMed, Cochrane, Scopus, et Science direct a été menée depuis leur création jusqu'en 2021. Les mots-clés utilisés étaient regroupés en trois catégories :

- Population: Aging, osteoporosis, sarcopenia, men, women
- Intervention: resistance training, strength, power training, high velocity training, vibration, physical activity and plyometric training
- Variables mesurées : DMO, bone, lumbar spine, hip

La recherche a été réalisée avec les fonctions booléennes OR et AND afin d'utiliser au moins un des mots de chaque catégorie.

C. Calcul de la taille d'effet

Les mesures de résultats ont été définies par la DMO (grammes par centimètre carré) au niveau du rachis lombaire et du col fémoral mesurés par des techniques radiographiques (absorptiométrie à photon unique (SPA), absorptiométrie à double photon (DPA) ou absorptiométrie à rayons X double (DXA)) avec les écarts-types (SD).

La taille de l'effet (ES) a été calculée directement sur la différence des moyennes (D) à partir de la différence entre les valeurs absolues de changement de la DMO par rapport aux valeurs de base selon Hedges et Olkin. Un D positif reflète des scores de résultats plus favorables pour le groupe de traitement que pour le groupe de comparaison.

Lorsque les valeurs finales de la DMO et de l'écart-type n'étaient pas disponibles dans l'article, les post-moyennes de la DMO ont été extraites de la variation moyenne en pourcentage et l'écart type a été obtenu à partir de l'erreur standard (SE) en multipliant SE par la racine carrée de la taille de l'échantillon.

Les résultats rapportés concernant les participants individuels manquants n'ont pas été imputés, et nous avons donc inclus des données uniquement pour les participants dont les résultats étaient connus.

Pour établir la signification statistique de nos résultats, les intervalles de confiance à 95 % ont été utilisés. Toutes les analyses ont été effectuées avec la version du logiciel psychometrica (https://www.psychometrica.de/effect_size.html) qui contient un certain nombre de calculatrices en ligne pour le calcul de différentes tailles d'effet.

La mesure de la taille d'effet la plus populaire est sûrement le d de Cohen (Cohen, 1988), mais il en existe bien d'autres (d_{ppc2} , d_{Korr} , **Common Language Effect Size CLES**).

Vous trouverez ainsi les résultats de la taille d'effet des études de l'entraînement de force, de puissance, pliométrie et de vibration sur la DMO du col fémoral et de la colonne lombaire avec un tableau d'interprétation des résultats (Tableau 1.21).

Pour l'entraînement de force :

Nous avons trouvé un effet inverse dans 6 études, aucun effet dans 7 études, petit effet dans 2 études et un effet intermédiaire dans 1 seule étude sur les effets de l'entraînement de force sur la DMO du col fémoral.

Au niveau de la colonne lombaire, nous avons trouvé un effet inverse dans 4 études, aucun effet dans 8 études et petit effet dans 5 études.

Ce type d'entraînement paraît efficace pour améliorer ou même maintenir la DMO au niveau du col fémoral et de la colonne lombaire chez les personnes âgées.

Tableau 1.9 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO du col fémoral

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Nelson et coll. (1994)	0.216	1.198
Rhodes et coll. (2000)	0.586	0.503
Kerr et coll. (2001)	0.18	0.182
Daly et coll. (2005)	0.042	0.043
de Matos et coll. (2009)	-0.009	-0.01
Bocalini et coll. (2009)	0.014	0.017
Marques et coll. (2011)	-0.084	-0.086
Chuin et coll. (2009)	0	-0.006
Pruitt et coll. (1995) High intensity vs control	-0.089	-0.119
Pruitt et coll. (1995) low intensity vs control	0.025	0.088
Nasr et coll. (2019)	0.235	0.244

Tableau 1.10 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO de la colonne lombaire

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Nelson et coll. (1994)	0.173	1.61
Rhodes et coll. (2000)	0.173	0.155
Kerr et coll. (2001)	-0.056	-0.056
Daly et coll. (2005)	0.045	0.046
de Matos et coll. (2009)	0.324	0.329
Bocalini et coll. (2009)	0.011	0.013
Chuin et coll. (2009)	0.065	0.033
Verschueren et coll. (2004)	-0.021	-0.022
Pruitt et coll. (1995) High intensity vs control	0.044	0.031
Pruitt et coll. (1995) low intensity vs control	0.03	-0.011
Nasr et coll. (2019)	0.375	0.39

Tableau 1.11 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO du col fémoral

Reference	Effect Size d_{Cohen} resp. g_{Hedges}	Common Language Effect Size CLES	Confidence Interval
Stengle et coll. (2005)	-0.165	0.547	-0.771 - 0.441
Bemben et bembem (2011) 2 days high intensity	-0.05	0.514	-0.548 - 0.448
Bemben et bembem (2011) 2 days low intensity	0.105	0.53	-0.37 - 0.581
Bemben et bembem (2011) 3 days high intensity	-0.232	0.565	-0.8 - 0.335
Bemben et bembem (2011) 3 days low intensity	0.151	0.542	-0.318 - 0.62

Tableau 1.12 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la force sur la DMO de la colonne lombaire

Reference	Effect Size d_{Cohen} resp. g_{Hedges}	Common Language Effect Size CLES	Confidence Interval
Stengle et coll. (2005)	-0.099	0.528	-0.705 - 0.506
Stengle et coll. (2007)	-0.276	0.577	-0.845 - 0.292
Bemben et bemben (2011) 2 days high intensity	0.348	0.597	-0.154 - 0.849
Bemben et bemben (2011) 2 days low intensity	0.273	0.576	-0.205 - 0.75
Bemben et bemben (2011) 3 days high intensity	0.319	0.589	-0.251 - 0.888
Bemben et bemben (2011) 3 days low intensity	0.129	0.536	-0.34 - 0.598

Pour l'entraînement de puissance :

Au niveau du col fémoral, 2 études ont montré un effet inverse de l'entraînement de puissance. Ainsi, nous avons obtenu un effet inverse dans 2 études et aucun effet dans 1 étude de l'entraînement sur la DMO de la CL.

Par conclusion, il y a un manque d'études de haute qualité pour obtenir un résumé sur la taille d'effet de ce type d'entraînement.

Tableau 1.13 : Taille d'effet d'une étude menée sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO du col fémoral

Reference	Effect Size d_{Cohen} resp. g_{Hedges}	Common Language Effect Size CLES	Confidence Interval
Stengle et coll. (2005)	-0.053	0.515	-0.658 - 0.552

Tableau 1.14 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO de la colonne lombaire

Reference	Effect Size $d_{\text{Cohen resp.}}^{\text{gHedges}}$	Common Language Effect Size CLES	Confidence Interval
Stengle et coll. (2005)	0.08	0.522	-0.525 - 0.685
Stengle et coll. (2007)	-0.038	0.511	-0.629 - 0.553

Tableau 1.15 : Taille d'effet d'une étude menée sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO du col fémoral

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Mosti et coll. (2013)	-0.146	-0.17

Tableau 1.16 : Taille d'effet d'une étude menée sur les effets de l'entraînement de la puissance sur la DMO de la colonne lombaire

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Mosti et coll. (2013)	-0.146	-0.17

Pour l'entraînement pliométrique :

Nous n'avons pas trouvé d'effet dans 2 études, un petit effet dans 2 études et un effet intermédiaire dans 1 étude sur la DMO du col fémoral. Un effet inverse dans 1 étude et aucun effet dans une autre étude sur la DMO du CL.

Nos résultats indiquent que l'entraînement pliométrique peut être efficace pour améliorer la masse osseuse juste au niveau du col fémoral.

Tableau 1.17 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement pliométrique sur la DMO du col fémoral

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Bassey et coll. (1998)	0.298	0.355
Shaw et coll. (1998)	0.026	0.06
Snow et coll (2000)	0.057	0.059
Newstead et coll. (2004)	0.611	0.621
Korpelainen et coll (2006)	0.283	0.179

Tableau 1.18 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement pliométrique sur la DMO de la colonne lombaire

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Bassey et coll. (1998)	-0.389	-0.483
Newstead et coll. (2004)	0	0

Pour l'entraînement de vibration :

Dans les 5 études retenues, nous n'avons trouvé aucun effet d'entraînement de la vibration sur la DMO du col fémoral. De plus, 4 études n'ont pas trouvé un effet sur la DMO de la colonne lombaire et 1 étude a montré un effet inverse.

Ce type d'entraînement permet d'inhiber le déclin osseux mais n'est pas efficace pour engendrer une amélioration significative de la DMO.

Tableau 1.19 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de vibration sur la DMO du col fémoral

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Santin-Medeiros (2015)	0	-0.022
Beck et Norling (2010) HWBV vs control	0.158	0.165
Beck et Norling (2010) LWBV vs control	0.123	0.128
Stengel et coll. (2011) VVT vs control	0.08	0.081
Stengel et coll. (2011) RVT vs control	0.019	0.021

Tableau 1.20 : Taille d'effet de plusieurs études menées sur les effets de l'entraînement de vibration sur la DMO de la colonne lombaire

Reference	Effect Size d_{ppc2}	Effect Size d_{Korr}
Verschueren et coll. (2004)	-0.048	-0.047
Beck et Norling (2010) HWBV vs control	0.048	0.035
Beck et Norling (2010) LWBV vs control	0.059	0.06
Stengel et coll. (2011) VVT vs control	0.059	0.059
Stengel et coll. (2011) RVT vs control	0.068	0.07

Tableau 1.21 : Tableau d'interprétation pour les différentes tailles d'effet

D	Interprétation Cohen (1988)
< 0	Effet inverse
0.0	Aucun effet
0.1	
0.2	Petit effet
0.3	
0.4	
0.5	Effet intermédiaire
0.6	
0.7	
0.8	Grand effet
0.9	
≥ 1.0	

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

2.1 Population

2.1.1 Nombre

49 femmes réparties en 3 groupes (2 expérimentaux et un témoin) de manière aléatoire : lourd-léger (16 F), hypertrophie (16 F), Témoin (17 F).

2.1.2 Méthode de Recrutement

Le recrutement des participantes a démarré en juin 2020. L'enquête a été menée auprès d'un échantillon représentatif de la population au Liban Nord. 57 femmes âgées qui résident dans différentes maisons de retraites ou dans leur maison privée ont été sollicitées. 51 femmes ont été recrutées puisqu'elles répondaient aux critères d'inclusion mentionnées ci-dessous. Elles ont signé un consentement éclairé et l'étude a été réalisée conformément à la déclaration d'Helsinki. 49 femmes ont continué jusqu'à la fin de l'étude (figure 2.1).

2.1.3 Critères d'Inclusion

- Femmes âgées entre 60 et 70 ans
- Femmes indépendantes durant la marche, capables de réaliser les tests et de s'entraîner
- Toutes les femmes ont subi un bilan médical avant l'intervention, elles sont en bonne santé
- Elles n'étaient pas engagées dans un programme de musculation durant les dernières années qui précédaient l'étude
- Toutes les participantes ont donné leur consentement éclairé à participer à l'étude.

2.1.4 Critères de non Inclusion

Femmes âgées avec une pathologie :

- Neurologique évolutive avec séquelle (AVC, etc...)
- Maladies cardiaques non réglées par médicament
- Maladies respiratoires chroniques
- Hospitalisation récente (moins de 3 mois)
- Opération ou problème orthopédique récent (moins qu'un an)
- Troubles comportementaux
- Dépression

2.1.5 Critères d'Exclusion

Arrêt l'étude pour des causes sociales et professionnels. Deux participantes ont arrêté l'étude (abandon de 3.92 %) ; une a quitté le pays avec sa famille et l'autre pour des raisons professionnelles.

2.1.6 Adhérence au programme

Chaque participante devait suivre régulièrement le programme d'entraînement d'une durée de 1 an comportant les séances d'apprentissage, d'entraînement et d'évaluations. En cas d'absence, pour différentes raisons, elle essayait de refaire la séance ratée. L'adhérence au programme est déterminée à partir des séances effectuées sous une supervision. Elle était de 79,5 % à 97.9 %.

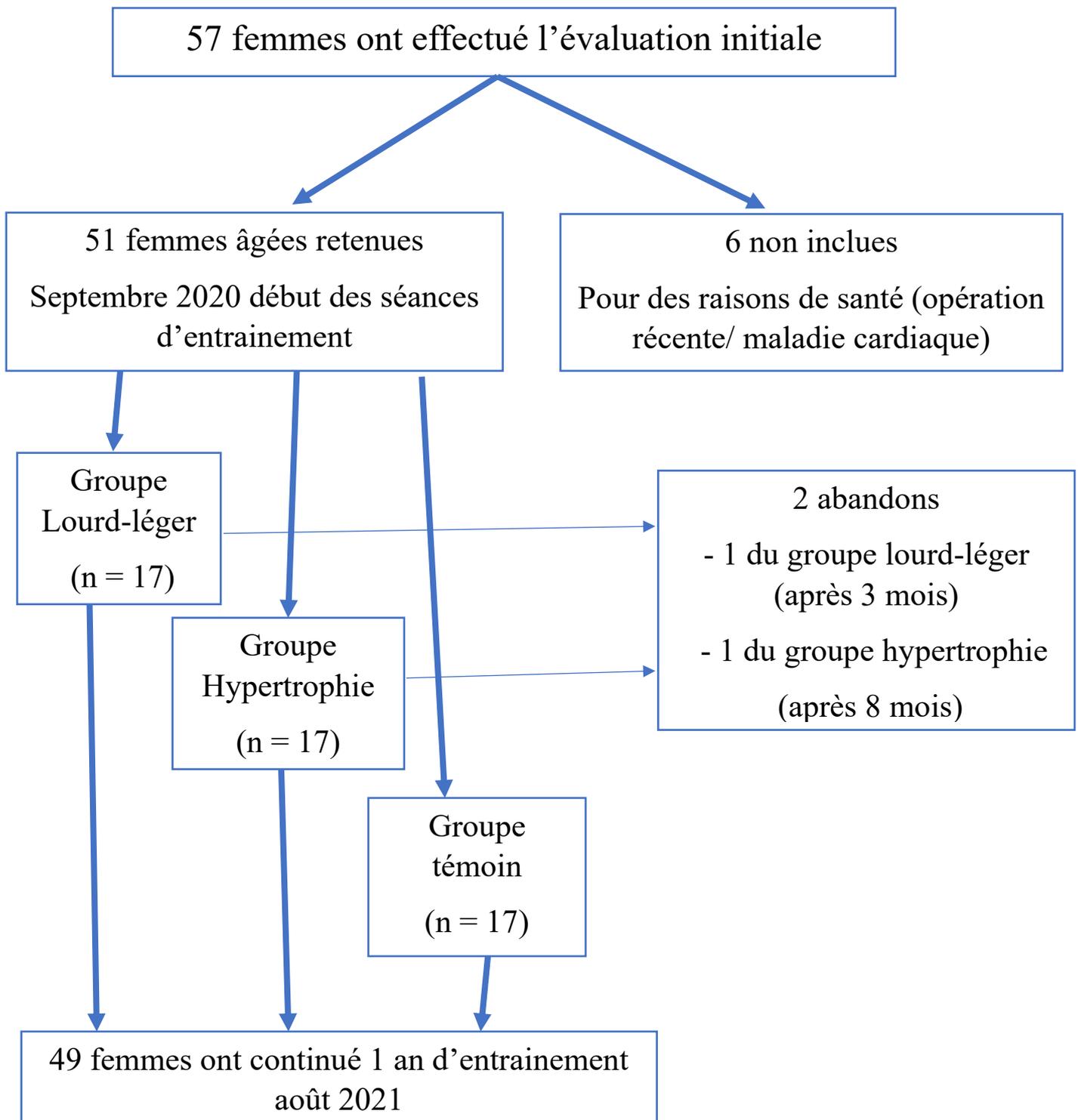


Figure 2.1 Diagramme des flux de l'étude principale (suivi longitudinal).

2.2 Les variables Mesurées et les Indicateurs de l'Étude

2.2.1 Les Variables Mesurées :

- Mesure des caractéristiques : âge, poids, taille, IMC, masse maigre, masse grasse
- Mesure de la qualité de sommeil par PSQI
- Mesure de la qualité de vie par le questionnaire SF-12
- Mesure du niveau d'activité physique par GPAQ
- 1 Répétition Maximale (RM) des exercices des membres supérieurs (DC, tirage poitrine, shoulder press, biceps D/G, triceps D/G)
- 1RM des exercices des membres inférieurs (leg press, demi squat, leg ext)
- Force de préhension
- Détente verticale
- DMO du corps entier, du col fémoral, de la hanche et du rachis lombaire par DEXA
- Indices géométriques de Beck (CSA, CSMI, Z, BR et SI) et indices de résistance osseuse de Karlamangla (CSI, BSI et ISI)

2.2.2 Les Indicateurs de l'Étude :

- **Positifs :**
 - Diminution du poids, de l'IMC et de la masse grasse
 - Augmentation de la masse maigre
 - Amélioration ou bien maintien de la DMO au niveau des sites mesurés
 - Augmentation des indices géométriques de Beck et des indices de résistance osseuse de Karlamangla
 - Amélioration de la force maximale au niveau des membres supérieurs et inférieurs
 - Amélioration de la force de préhension
 - Augmentation de la hauteur de la détente verticale

2.3 Matériels nécessaires pour la réalisation de l'étude

2.3.1 Le 'Pittsburgh Sleep Quality Index' (PSQI)

L'Index de Qualité de Sommeil de Pittsburg, est un questionnaire qui permet de traiter les habitudes de sommeil pendant le dernier mois. Il comprend 19 questions d'auto-évaluation incluses dans le score et 5 questions posées au conjoint de chambre s'il est présent. Chaque réponse donne un score qui varie entre 0 et 3, 0 aucune difficulté et 3 difficulté sévère. Les questions sont réparties sur 7 composantes qui constituent ensemble le score global de la qualité de sommeil allant de 0 à 21 points. Un score de 0 signifie qu'il n'y a pas de difficulté alors qu'un score de 21 indique une difficulté majeure. Le temps nécessaire pour réaliser le questionnaire est d'environ 10 minutes (Buysse et coll., 1989 ; Pour le test complet voir annexe A).

2.3.2 Le Questionnaire SF-12

C'est un questionnaire sur la qualité de vie liée à la santé qui a été publié pour la première fois en 1995 dans le cadre de la Medical Outcomes Study (MOS). Le SF-12 a été construit à l'aide de questions tirées de chacune des 8 dimensions de l'enquête SF-36. Il est conçu pour avoir des performances similaires à celles du SF-36, tout en prenant moins de temps.

Il comporte 12 questions dans le domaine de la santé physique et mentale qui nous donnent deux scores, un score de composante mentale (MCS-12) et un score de composante physique (PCS-12), tout en utilisant un calculateur de score SF-12 en ligne : orthotoolkit (<https://www.orthotoolkit.com/sf-12/>).

La version utilisée correspond à la version SF-12 1.0. Cette version du SF-12 n'est pas exclusive et les scores calculés font référence au profil de la population des États-Unis au moment de la publication originale en 1994. Il faut environ 10 minutes aux patients pour remplir le questionnaire (Ware, Kosinski et Keller, 1996 ; Pour le test complet voir annexe B).

2.3.3 Le Questionnaire GPAQ

Afin de recueillir des informations fiables et valides sur le niveau d'activité physique des femmes, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a mis un questionnaire mondial sur la pratique d'activité physique (GPAQ = Global Physical Activity Questionnaire). Il comprend 16 questions qui regroupent 4 situations différentes :

- Activités au milieu du travail
- Déplacement d'un endroit à l'autre
- Activités de loisirs
- Les comportements sédentaires

(Cleland et coll., 2014 ; Pour le test complet voir annexe C).

Les résultats permettent d'obtenir un score du temps de 3 niveaux d'activités physiques : élevé, modéré, total et le temps passé en position assise. Le temps de passation est d'environ 10 min.

2.3.4 DEXA

La DEXA est un appareil de mesure des paramètres osseux et d'autres composantes du corps, elle est considérée comme une méthode de référence pour diagnostiquer l'ostéoporose (Blake et Fogelman, 2007). En effet, elle est largement utilisée dans le domaine scientifique parce qu'elle est peu irradiante, accessible avec un coût acceptable. Parmi les différentes mesures déterminées par DEXA, on s'intéresse dans notre étude aux valeurs anthropométriques (poids, tailles, IMC, MM et MG), aux indices géométriques de Beck et indices de résistance osseuse de Karlamangla ainsi qu'aux valeurs de la DMO (g/cm^2) en plusieurs sites osseux :

- CE
- CL (L1-L4)
- HT et CF

Pendant les mesures, une chemise en coton léger a été portée et les sujets ont enlevé tous les accessoires de métal. La taille et la masse corporelle ont été enregistrées à l'aide

d'un stadiomètre portable et d'une balance de pesée, respectivement. L'IMC a été calculé en utilisant la formule standard : masse (kg) / taille² (m).

2.3.5 La Force Musculaire Maximale

Dans une série, la charge maximale (100%) ne peut être réalisée qu'une seule fois, on parle alors de répétition maximale ou de 1-RM. Pour déterminer cette charge maximale, on a utilisé une méthode indirecte de Nebraska (pour le test complet voir annexe D).

Après un échauffement correct, on a choisi une charge supérieure à la moyenne des possibilités des femmes et on a commencé une série de X répétitions. Lorsqu'une femme dépasse 20 répétitions, on reprend le test avec plus de poids, puisque le nombre de répétitions doit être compris entre 8 et 15.

Par contre, si la femme ne dépasse pas 5 répétitions car la charge est trop élevée, on enlève du poids jusqu'à ce que le nombre de répétitions soit compris entre 8 et 15.

Lorsque la femme déplace une charge entre 8 et 15 répétitions, on calcule la charge maximale 1RM en appliquant la formule suivante :

Formule de Nebraska : 1-RM = ((0,0333 x nbr de répétition) + 1) X Charge déplacée

Le 1-RM est déterminé pour les exercices suivants :

- Développé couché (DC) :

La femme est allongée en décubitus dorsal avec les genoux fléchis, elle prend la barre de musculation avec les mains en pronation écartées d'une distance supérieure à la largeur des épaules. Elle descend la barre jusqu'à la poitrine puis elle tend les bras pour remonter la barre en fin d'effort.

- Tirage poitrine :

La femme s'assoit sur l'appareil de musculation multifonction, elle prend la barre avec les deux mains. Elle tire la barre vers le bas jusqu'à la poitrine puis elle revient à la position de départ en contrôlant le mouvement.

- Développé devant (DD) :

En position debout, les pieds écartés de la largeur des épaules, la femme tient les haltères à hauteur des épaules avec les coudes sur les côtés et pliés à un angle de 90 degrés. Sans pencher en arrière, la femme soulève lentement les haltères au-dessus de la tête. Puis elle revient lentement à la position de départ.

- Flexion du coude :

En position assise, le coude en appui sur la cuisse du même côté, la femme effectue une flexion de l'avant-bras sur le bras avec un haltère dans toute l'amplitude. Le test est réalisé sur chaque côté.

- Extension du coude :

En position allongée, le bras vertical avec une haltère dans la main, la femme effectue une flexion de l'avant-bras jusqu'à ce que le coude fasse un angle de 90 degrés puis elle revient à la position initiale. Les coudes sont orientés vers le plafond lors de la flexion.

- Presse horizontale des membres inférieurs :

La femme s'assoit sur la machine avec le dos collé au dossier, les genoux écartés de la largeur des épaules et les pointes de pieds dirigées vers l'extérieur. Elle décolle la charge jusqu'à ce que les jambes soient presque tendues puis elle revient en position de départ.

- Extension des genoux :

En position assise sur la machine, les jambes placées sous les supports avec un angle de 90 degrés des genoux et le dos contre le dossier. La femme contracte les

quadriceps pour tendre les jambes le plus haut possible. Redescendre ensuite les charges et les jambes dans la position de départ.

- Demi-squat avec haltères :

En position debout, pieds écartés de la largeur du bassin, les genoux sont légèrement fléchis et le bassin est en position neutre. La femme prend une haltère du même poids avec chaque main et effectue une flexion des genoux, en poussant les fesses vers l'arrière et vers le bas. Les genoux ne doivent pas dépasser les orteils en gardant le buste droit et les talons collés au sol. Elle revient à la position de départ avec les genoux légèrement fléchis.

2.3.6 La Force Maximale de Préhension (Hand Grip)

Le dynamomètre permet de mesurer la force de préhension isométrique maximale en kilogramme (kg). Il est largement utilisé dans les études scientifiques parce que cette mesure est fiable et facilement reproductible. Ce test est effectué en position assise, coude fléchi à 90%, et le patient doit serrer au maximum avec la main. Ainsi, la mesure sera réalisée trois fois dans chaque main avec un temps de repos de 30 secondes entre les essais, afin de retenir la meilleure performance. Si la différence entre les mesures était supérieure à 3 kg, le test doit être répété mais après une période de récupération de 2 minutes (*Norman et coll. 2011*). Dans cette étude, on a utilisé le type A qui se présente dans la figure 2.1 pour quantifier la HGS manuelle.

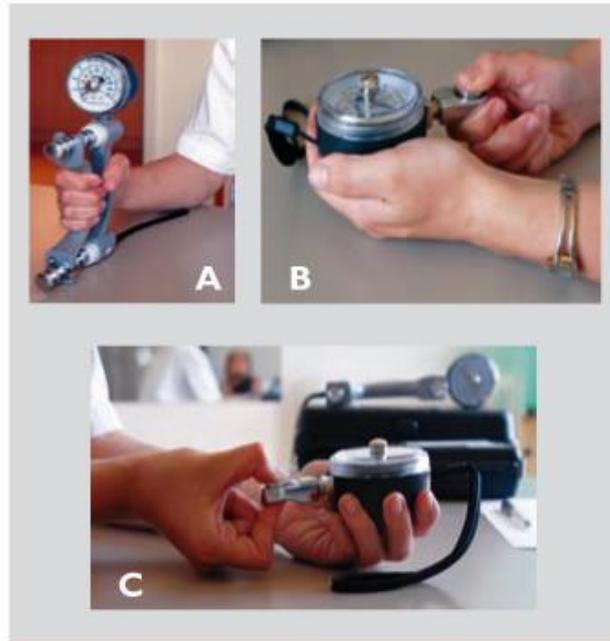


Figure 2.2 : Force musculaire évaluée par des méthodes standardisées (Rivier et coll., 2011).

A. Prise digitopalmaire (Grip strength – dynamomètre à main Jamar) ; B. Prise pulpolatérale entre le pouce et l’index (Key Pinch) ; C. Prise termino-terminale entre le pouce et l’index (Tip Pinch).

2.3.7 La Détente Verticale

Le test de Sargent permet d’évaluer la force explosive et la puissance maximale des membres inférieurs. Dans un premier temps, le sujet s’enduit les doigts de craie. Dans un deuxième temps, en se tenant droit, l’épaule à environ 15 cm du mur, les pieds bien à plat sur le sol, le sujet élève son bras dominant (celui qu’il utilisera lors du test) le plus haut possible et effectue une première marque de craie sur le mur. Dans un troisième temps, sans changer de position, le sujet effectue immédiatement un contre-mouvement et saute le plus haut possible. À l’apogée du saut, le sujet touche une nouvelle fois le mur avec la même main. La détente sèche en centimètres est alors l’écart (arrondi au cm prêt) entre les deux marques. 3 essais sont autorisés et le meilleur résultat des 3 essais est enregistré.

2.4 Protocoles

2.4.1 Protocole d'Évaluation

- Avant l'intervention, tous les sujets sont venus à 3 reprises au centre Tripoli entre coupés par au moins 2 jours de repos.
- Lors de la première visite on a pris les caractéristiques de base des participants : âge, SF-12, PSQI et niveau de l'activité physique par GPAQ.
- La deuxième visite était pour familiariser les femmes aux machines de musculation et pour apprendre les bonnes exécutions et les consignes pour appliquer correctement les techniques et les protocoles d'exercice en toute sécurité.
- Lors de la troisième visite on a effectué la mesure des différentes variables des participants :
 - 1-RM des membres supérieurs
 - 1-RM des membres inférieurs
 - Force de préhension
 - Détente verticale
- 1 visite à l'hôpital Hamidi a été effectuée pour chaque patiente pour mesurer les paramètres osseux par DEXA et les valeurs anthropométriques (poids, taille, IMC, MM, MG)
- Les variables ont été évaluées après 1 an d'intervention.

2.4.2 Protocole d'Entraînement des Groupes Expérimentaux

L'entraînement consiste en 2 séances par semaine espacées d'au moins par 2 jours de récupération sur une période d'1 an. Chaque séance comprend un échauffement, des exercices de musculation et des étirements. Les séances ont été menées au centre Tripoli

dans une salle adaptée. Chaque séance a regroupé deux à trois patientes et elle était dirigée par une physiothérapeute spécialisée en gériatrie.

Pour les 2 groupes d'entraînement, 2 séances par semaine sont effectuées :

- ❖ 1 séance pour faire travailler les muscles des membres inférieurs en utilisant les exercices suivants : demi-squat, leg press, leg extension
- ❖ 1 séance pour faire travailler les muscles des membres supérieurs en utilisant les exercices suivants : développé-couché, tirage à la poitrine, shoulder press, biceps, triceps
- ❖ Afin de ne pas mettre les participantes en danger de blessures, on a utilisé dans les 2 groupes durant les 4 premières séances une intensité de 65% d'1-RM
- ❖ Méthode bulgare pour le groupe lourd-léger :
 - 5 minutes d'échauffement
 - Travail de force maximale avec 5 répétitions à 85% de 1-RM suivies de travail de puissance maximale avec 5 répétitions à 65% de 1-RM à une vitesse rapide (la plus élevée possible) dans la phase concentrique pour chaque muscle des membres pour 3 séries
 - Temps de repos entre les séries de 3 minutes
 - 5 minutes de retour au calme avec les exercices (abdominal crunches ; prone superman) pour cibler les muscles stabilisateurs du tronc
- ❖ Méthode d'hypertrophie pour le groupe Force :
 - 5 minutes d'échauffement
 - Travail de force de 3 séries pour chaque muscle des membres avec 10 répétitions à 75% de 1-RM à une vitesse spontanée (durée d'une répétition = 4 secondes qui inclut la phase excentrique et concentrique).
 - Temps de repos entre les séries de 3 minutes
 - 5 minutes de retour au calme avec les exercices (abdominal crunches ; prone superman) pour cibler les muscles stabilisateurs du tronc
- ❖ Étirement:

A la fin de chaque séance le sujet effectue 5 minutes d'étirement des muscles travaillés. Les muscles à étirer sont : les pectoraux, les biceps brachiaux, les grands fessiers, les quadriceps, les ischio-jambiers, les triceps suraux, les grands dorsaux, les

trapèzes, les dorsaux, les deltoïdes et les triceps brachiaux. Chaque étirement est effectué 5 fois, 6 secondes de tension et 6 secondes de relâchement.

2.5 Étude Statistique

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel Sigma Stat avec un seuil de signification $p < 0.05$. Les mesures sont traitées avec un tableau de type Microsoft Excel. Les moyennes et les écarts-types ont été calculés pour chacune des variables. Les différences entre les groupes dans les mesures de base ont été évaluées à l'aide de l'analyse de variance à une voie (ANOVA).

Une analyse de variance avec des mesures répétées (Two-way-RM-Anova) a été utilisée pour effectuer des comparaisons pré et post tests pour chacune des variables et pour chaque groupe (lourd-léger ; hypertrophie ; témoin) ainsi que les comparaisons entre les groupes. Lorsque des interactions significatives entre le temps et le groupe ont été trouvées, les tests post hoc de Bonferroni ont été utilisés pour déterminer les différences significatives entre les valeurs moyennes dans chaque groupe. Le pourcentage de variation a été calculé avec la formule standard : $\% \text{ changement} = [(\text{score post-test} - \text{score pré-test}) / \text{score pré-test}] \times 100$. Les pourcentages de variations ont été comparés entre les trois groupes.

Les corrélations ont été réalisées par l'intermédiaire du test du Pearson.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Étude préliminaire : relations entre l'indice de masse squelettique relative et les indices de résistance osseuse du col fémoral chez un groupe de femmes âgées libanaises

Résumé structuré

Objectif – L'objectif principal de cette étude transversale est d'explorer les relations entre l'indice de masse squelettique relatif SMI (%) = [masse maigre appendiculaire (MMA)/poids*100] et les indices de résistance osseuse du col fémoral (indice de force en compression (CSI), indice de force en flexion (BSI) et indice de force aux contraintes (ISI)) chez un groupe de femmes libanaises âgées.

Méthodologie spécifique à l'étude – 51 femmes âgées entre 60 et 70 ans ont participé à cette étude. La taille (m) et le poids (kg) ont été mesurés, et l'IMC a été calculé. La composition corporelle et la DMO ont été évaluées par DEXA (DXA, G-Lunar iDXA, Madison, WI). La masse maigre appendiculaire (MMA, en kg) a été calculée en additionnant les masses musculaires des 4 membres. L'indice de masse musculaire squelettique (SMI = MMA/taille²), le SMI relatif (%) et le MMA/IMC ont ensuite été calculés. Nous avons utilisé la définition de Kim et coll. (2015) pour définir le SMI relatif (%). L'indice de masse musculaire squelettique relatif [SMI (%)] a été calculé selon la formule suivante : SMI (%) = MMA (kg)/poids (kg) * 100. Les indices de résistance osseuse du col fémoral ont été calculés comme décrit précédemment par Karlamangla et coll (2004). Ces indices peuvent prédire le risque de fracture de la hanche chez les personnes âgées. Le CSI et le BSI mettent en évidence les forces que le col fémoral peut supporter en compression axiale et en flexion, tandis que l'ISI met en évidence l'énergie que le col fémoral absorbe lors d'un impact à hauteur. Les trois indices (CSI, BSI et ISI) sont exprimés en g/kg-m.

Résultats – Le SMI relatif (%) était positivement corrélé au CSI (r = 0,65 ; p < 0,001), au BSI (r = 0,66 ; p < 0,001) et à l'ISI (r = 0,55 ; p < 0,001). Ces corrélations ont persisté après ajustement pour l'âge (en utilisant des régressions linéaires multiples).

Discussion – Nos résultats sont en accord avec ceux de Kim et coll. (2015) qui ont démontré que les femmes pré-sarcopéniques ont des indices de résistance osseuse du col fémoral systématiquement inférieurs à celles des femmes saines.

Conclusion – Cette étude suggère que le SMI (%) est un déterminant positif des indices de résistance osseuse de la force du col fémoral chez les femmes âgées. La mise en œuvre des stratégies d'optimisation de cet indice est conseillée pour prévenir les fractures ostéoporotiques de la hanche chez les femmes âgées. Les programmes d'entraînement physique doivent être adaptés en conséquence.

Letter to the Editor

Relationships between relative skeletal muscle mass index and composite indices of femoral neck in a group of Lebanese postmenopausal women

Dear Editor,

Osteoporosis is a prevalent disease in the elderly Lebanese population (1-3). Osteoporosis increases the risk of hip fractures (1-3). A study conducted on the Lebanese population in 2013 demonstrated that the crude annual incidence rate of hip fractures in individuals over the age of 50 was 147 per 100,000 individuals; 132 per 100,000 males and 160 per 100,000 females (3). Bone mineral density (BMD) measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) remains the best available method for evaluating future fracture risk (4). However, only 50%–70% of total bone strength can be explained by BMD; in fact, two thirds of individuals who suffer a fracture do not have osteoporosis as defined by using BMD values (4,5). These results suggest that the BMD measurement alone is not sufficient to adequately predict future fracture risk (5). There is now substantial evidence showing that body size and femoral neck geometry contribute to fracture risk independently of BMD (4-8). Consequently, Karlamangla et al (8) 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) (8-11). These indices associate inversely with incident hip fracture risk in elderly women from different countries (8-12). A study conducted on Lebanese postmenopausal women has shown that CSI is associated with history of osteoporotic fractures (12). Moreover, these indices have been used as a measure of femoral neck strength (8-12). Interestingly, we have previously shown that physical activity level and vitamin D concentration are positively associated with CSI, BSI and ISI while indices of obesity such as fat mass percentage and body mass index are negatively correlated to CSI, BSI and ISI (13-18).

Sarcopenia is defined as the loss of skeletal muscle mass and strength that occurs with advancing age (19,20). Sarcopenia staging reflects the severity of the condition. The 'presarcopenia' stage is characterized by low muscle mass without impact on muscle strength or physical performance. This stage can only be identified

by techniques that measure muscle mass accurately and in reference to standard populations (19,20). The 'sarcopenia' stage is characterized by low muscle mass, plus low muscle strength or low physical performance. 'Severe sarcopenia' is the stage identified when all three criteria of the definition are met (low muscle mass, low muscle strength and low physical performance). Recognizing stages of sarcopenia may help in selecting treatments and/or setting management strategies (19,20). The evaluation of skeletal muscle mass index (SMI = appendicular lean mass/height²) by DXA is needed to confirm the presence of sarcopenia or presarcopenia, and corresponding cut-offs have been identified by European and Asian working groups on sarcopenia (19,20). Appendicular lean mass (ALM), ALM/body mass index and relative SMI (ALM/weight*100) have been also used to confirm the presence of presarcopenia or sarcopenia (19-23). Recently, cut-off values for relative SMI (%) have been defined to diagnose presarcopenia in the Lebanese population (23).

We have previously shown that lean mass, appendicular lean mass, SMI (kg/m²) and maximal strength indices are positively correlated to BMD in the Lebanese population while sarcopenia negatively affects bone health parameters in both genders (24-29). However, the relationships between relative SMI (%) and composite indices of femoral neck strength remain unclear. Therefore, the aim of the current study was to explore the relationships between relative SMI (%) and composite indices of femoral neck strength (CSI, BSI and ISI) in a group of Lebanese postmenopausal women. We hypothesized that relative SMI (%) would be positively correlated to CSI, BSI and ISI in the studied population.

This study included 51 healthy elderly women whose ages range between 60 and 70 years. They were randomly selected from an autonomous and independent population, living in their ordinary environment in north Lebanon. Participants were healthy and not engaged in any muscle strengthening program before the study. Exclusion criteria included: smoking, alcoholism, history of major orthopedic problems or other disorders known to affect bone metabolism. Written informed consent was obtained from all participants. The study has been carried out in accordance with the declaration of Helsinki

(regarding human experimentation developed for the medical community by the World Medical Association).

Height (m) and weight (kg) were measured, and body mass index (BMI; kg/m²) was calculated. Body composition and BMD were assessed by DXA (DXA; GE-Lunar iDXA, Madison, WI). Appendicular lean mass (ALM, in kg) was calculated by summing the muscle masses of the 4 limbs, assuming that all non-fat and non-bone mass is lean muscle (21-23). Skeletal muscle mass index (SMI = ALM/height²), relative SMI (%) and ALM/BMI were then calculated. We used the definition of Kim et al. (21) to define relative SMI (%). The relative skeletal muscle mass index [SMI (%)] was calculated as ALM (kg)/weight (kg) × 100 (21).

BMD measurements 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). Composite indices of FN strength were calculated as previously described by Karlamangla et al (8). These indices can predict hip fracture risk in the elderly (8-11). 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 (8). The three indices (CSI, BSI and ISI) are expressed in g/kg-m.

Mean relative SMI (%) ± SD of the study population was 23.2 ± 2.7. Mean CSI ± SD was 3.85 ± 0.77, mean BSI ± SD was 1.29 ± 0.32 and mean ISI ± SD was 0.243 ± 0.050. Relative SMI (%) was positively correlated to CSI (r = 0.65; p < 0.001), BSI (r = 0.66; p < 0.001) and ISI (r = 0.55; p < 0.001). The positive associations between relative SMI (%) and composite indices of femoral neck strength remained significant after controlling for age using multiple linear regressions. Our results are in line with those of Kim et al. (21) who demonstrated that after adjusting for confounders, women with presarcopenia had consistently lower indices for compression strength, bending strength and impact strength than women without this condition. In conclusion, relative skeletal muscle mass index seems to be an independent determinant of composite indices of femoral neck strength in postmenopausal women. Implementing strategies to optimize this index is advised to prevent osteoporotic hip fractures in elderly women. Physical training programs should be adapted accordingly.

Obaida Abdul Al
Eddy Zakhem
Gautier Zunquin
Rawad El Hage PhD

The authors state that they have no conflicts of interest.

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

² Laboratoire Mouvement, Equilibre, Performance et Santé (EA 4445), Département STAPS, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Tarbes, France
E-mail: rawadelhage21@hotmail.com

References

1. El Hage R, Bachour F, Sebaaly A, et al. 2014 The influence of weight status on radial bone mineral density in Lebanese women. *Calcif Tissue Int* 94(4):465-467.
2. El Hage R, Bachour F, Khairallah W, et al. 2014 The influence of obesity and overweight on hip bone mineral density in Lebanese women. *J Clin Densitom* 17(1):216-217.
3. Maalouf G, Bachour F, Hlais S, et al. 2013 Epidemiology of hip fractures in Lebanon: a nationwide survey. *Orthop Traumatol Surg Res* 99(6):675-680.
4. Mayhew PM, Thomas CD, Clement JG, et al. 2005 Relation between age, femoral neck cortical stability, and hip fracture risk. *Lancet* 366:129-135.
5. Wainwright SA, Marshall LM, Ensrud KE, et al. 2005 Hip fracture in women without osteoporosis. *J Clin Endocrinol Metab* 90:2787-2793.
6. Nelson DA, Beck TJ, Wu G, et al. 2011 Ethnic differences in femur geometry in the women's health initiative observational study. *Osteoporos Int* 22:1377-1388.
7. Alonso CG, Curiel MD, Carranza FH, et al. 2000 Femoral bone mineral density, neck-shaft angle and mean femoral neck width as predictors of hip fracture in men and women. Multicenter Project for Research in Osteoporosis. *Osteoporos Int* 11:714-720.
8. Karlamangla AS, Barrett-Connor E, Young J, et al. 2004 Hip fracture risk assessment using composite indices of femoral neck strength: the Rancho Bernardo study. *Osteoporos Int* 15:62-70.
9. Yu N, Liu YJ, Pei Y, et al. 2010 Evaluation of compressive strength index of the femoral neck in caucasians and chinese. *Calcif Tissue Int* 87:324-332.
10. Ishii S, Cauley JA, Crandall CJ, et al. 2012 Diabetes and femoral neck strength: findings from the hip strength across the menopausal transition study. *J Clin Endocrinol Metab* 97:190-197.
11. Ishii S, Greendale GA, Cauley JA, et al. 2012 Fracture risk assessment without race/ethnicity information. *J Clin Endocrinol Metab* 97:3593-3602.
12. Ayoub ML, Maalouf G, Bachour F, et al. 2014 DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop Traumatol Surg Res* 100:855-858.
13. Alwan A, C El Khoury, Zouhal H, et al. 2016 Vitamin D Level and Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Lebanese Men. *J Clin Densitom* 19(4):492-493.
14. Berro AJ, Alwan A, Zouhal H, et al. 2018 Vitamin D Level and Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Lebanese Women. *J Clin Densitom* 21(2):308-309.
15. 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(2):214-224.
16. Zakhem E, Sabbagh P, Ghanem-Zakhem A, et al. 2020 Influence of Physical Activity Level on Composite Indices of Femoral Neck Strength in a Group of Young Overweight Men. *J Clin Densitom* 23(4):596-603.

17. El Hage R. 2014 Composite indices of femoral neck strength in adult female soccer players. *J Clin Densitom* 17(1):212-213.
18. C El Khoury, Toumi H, Lespessailles E, et al. 2017 Decreased Composite Indices of Femoral Neck Strength in Young Obese Men. *J Clin Densitom* 20(2):268-270.
19. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. 2019 Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 48(1):16-31.
20. Chen LK, Woo J, Assantachai P, et al. 2020 Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *J Am Med Dir Assoc* 21(3):300-307 e2.
21. Kim BJ, Ahn SH, Kim HM, et al. 2015 Low skeletal muscle mass associates with low femoral neck strength, especially in older Korean women: the Fourth Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV). *Osteoporos Int* 26(2):737-747.
22. Khawaja A, Sabbagh P, Prioux J, et al. 2021 The Relationships Between Skeletal Muscle Index and Bone Variables in a Group of Young Adults. *J Clin Densitom* 24(1):78-87.
23. Saddik H, Pinti A, Antoun A, et al. 2021 Limb Muscular Strength and Bone Mineral Density in Elderly Subjects with Low Skeletal Muscle Mass Index. *J Clin Densitom*: In press.
24. Nasr R, N Al Rassy, Watelain E, et al. 2020 Muscular Maximal Strength Indices and Bone Variables in a Group of Elderly Women. *J Clin Densitom* 23(3):465-471.
25. El Hage R, Baddoura R. 2012 Anthropometric predictors of geometric indices of hip bone strength in a group of Lebanese postmenopausal women. *J Clin Densitom* 15(2):191-197.
26. C El Khoury, Pinti A, Lespessailles E, et al. 2018 Physical Performance Variables and Bone Mineral Density in a Group of Young Overweight and Obese Men. *J Clin Densitom* 21(1):41-47.
27. Berro AJ, Rassy NA, Ahmaidi S, et al. 2019 Physical Performance Variables and Bone Parameters in a Group of Young Overweight and Obese Women. *J Clin Densitom* 22(2):293-299.
28. Saddik H, Nasr R, Pinti A, et al. 2020 Sarcopenia negatively affects hip structure analysis variables in a group of Lebanese postmenopausal women. *BMC Bioinformatics* 21(Suppl 2):86.
29. Nasr R, Watelain E, Pinti A, et al. 2018 Sarcopenia and Hip Structure Analysis Variables in a Group of Elderly Men. *J Clin Densitom* 21(2):312-313.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE PRINCIPALE : Effets de Deux Types d'Entraînement de Force (Hypertrophie vs. Lourd-léger) sur les Paramètres Osseux et les Paramètres de Performance Physique chez des Femmes Âgées Saines

Objectif : l'objectif de la présente étude était d'explorer l'effet de deux types d'entraînement de force (hypertrophie vs entraînement par contraste) sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique dans un groupe de femmes âgées en bonne santé au Liban.

Méthodes : Quarante-neuf femmes âgées en bonne santé dont l'âge varie entre 60 et 70 ans ont été incluses dans l'étude. Elles ont été réparties au hasard en trois groupes : groupe hypertrophie (n=16), groupe entraînement par contraste (n=16) et groupe témoin (n=17). La densité minérale osseuse au niveau du corps entier, de la colonne lombaire, de la hanche totale et du col du fémur, le CMO ainsi que les indices de géométrie osseuse de la hanche ont été mesurés par DEXA avant et après 12 mois d'intervention. Nous avons également mesuré les données anthropométriques, la composition corporelle. Les qualités physiques ont été évaluées par des tests de force maximale (1-RM) : le développé couché, le tirage poitrine, le développé devant, le biceps et le triceps pour les membres supérieurs ; leg press, leg ext et demi-squat pour les membres inférieurs, ainsi que la HGS et le test de la détente verticale. Les participantes remplissaient des questionnaires concernant leur niveau d'AP à l'aide du GPAQ ainsi que le questionnaire PSQI. La QV était évaluée par le questionnaire SF-12.

Résultats : la partie de l'étude principale n'est pas encore valorisée. Cependant, un article est en cours de reviewing. Les résultats de cette étude à t=0 et t=1 seront détaillés ci-dessous.

3.1 Les Caractéristiques de Base des Personnes Âgées

Le tableau 3.1 montre les caractéristiques de base des sujets au début de l'étude. Nos résultats montrent que nos groupes sont appariés en ce qui concerne leurs données démographiques telles que l'âge, le poids, la taille, l'IMC et l'âge de ménopause, ainsi que leurs scores dans le PSQI, PCS, MCS et le test de GPAQ ($P > 0.05$).

Tableau 3.1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de base des participantes

Caractéristiques de base	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
Age (ans)	65.18 ± 3.52	65.41 ± 3.43	65.47 ± 2.52	0.963
Poids (kg)	66.56 ± 11.45	69.53 ± 11.04	68.44 ± 16.31	0.814
Taille (m)	1.56 ± 0.07	1.55 ± 0.05	1.52 ± 0.05	0.109
IMC (kg/m ²)	27.33 ± 4.34	28.98 ± 4.30	29.75 ± 7.11	0.438
Age de ménopause	50.06 ± 3.59	50.81 ± 2.99	49.59 ± 3.14	0.557
PSQI	6.94 ± 3.80	6.38 ± 2.87	6.29 ± 2.85	0.823
PCS	50.39 ± 6.68	51.29 ± 4.24	48.81 ± 6.70	0.488
MCS	48.13 ± 10.97	43.62 ± 11.15	42.94 ± 11.65	0.370
AP à intensité élevée	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.000
AP à intensité modérée	763.13 ± 701.10	650.00 ± 615.55	739.65 ± 565.22	0.865
AP total (min/semaine)	763.13 ± 701.10	650.00 ± 615.55	739.65 ± 565.22	0.865
Temps assis	9.75 ± 2.82	9.53 ± 2.99	9.59 ± 3.54	0.979

IMC = Indice de masse corporel ; PSQI = Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh ; PCS = Physical component score ; MCS = Mental component score ; AP = activité physique

3.2 Les Mesures des Paramètres de Performance Physique des Personnes Âgées au Début de l'Étude

Le tableau 3.2 montre les mesures de la force musculaire maximale et du test de la détente verticale des sujets avant l'intervention. Aucune différence significative n'apparaît en termes de 1RM des exercices des membres supérieurs (DC, Tirage poitrine, shoulder press, Biceps D, Biceps G, Triceps D, Triceps G, Handgrip D, Handgrip G), des exercices des membres inférieurs (Leg Press, Demi-squat, Leg ext) et du test de la détente verticale entre les groupes ($P > 0.05$).

Tableau 3.2 : Tableau récapitulatif des mesures de performance physique des participantes

Performance physique	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
DC	25.06 ± 5.89	25.55 ± 6.75	25.50 ± 4.26	0.964
Tirage poitrine	30.97 ± 3.64	31.50 ± 5.38	30.82 ± 4.78	0.909
Shoulder press	9.52 ± 1.87	9.75 ± 2.45	9.06 ± 1.68	0.608
Biceps D	8.10 ± 2.07	8.17 ± 2.58	8.37 ± 2.33	0.944
Biceps G	8.16 ± 2.10	8.26 ± 2.45	8.03 ± 2.20	0.956
Triceps D	5.06 ± 0.97	5.17 ± 1.16	4.85 ± 1.01	0.668
Triceps G	4.76 ± 1.00	4.93 ± 1.16	4.68 ± 1.17	0.807
Handgrip D	22.47 ± 4.62	21.97 ± 4.23	21.24 ± 3.68	0.697
Handgrip G	20.97 ± 4.78	20.97 ± 4.79	19.12 ± 4.51	0.428
Leg press	121.86 ± 24.02	120.42 ± 35.15	120.49 ± 24.91	0.987
Demi squat	16.53 ± 3.65	15.43 ± 3.93	15.45 ± 3.56	0.629
Leg ext	27.10 ± 6.38	26.27 ± 6.65	26.11 ± 5.59	0.886

DV (cm)	14.78 ± 3.84	13.97 ± 5.34	14.41 ± 4.32	0.880
---------	--------------	--------------	--------------	-------

DC = développé couché ; D = droit ; G = gauche ; Leg ext = Leg extension ; DV = détente verticale

3.3 Les Mesures Osseuses des Personnes Âgées au Début de l'Étude

Le tableau 3.3 montre qu'il n'y avait pas de différences significatives au niveau de la DMO et de T-score sur les sites mesurés entre les groupes avant l'intervention. De plus, aucune différence significative n'apparaît concernant les indices géométriques de Beck, des indices de résistance osseuse de Karlamangla, de MG, MM et de SMI entre les groupes.

Tableau 3.3 : Tableau récapitulatif des valeurs osseuses au début de l'étude

Mesures osseuses	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
DMO L1-L4	0.96 ± 0.15	0.95 ± 0.12	0.97 ± 0.13	0.862
T-score L1-L4	-1.54 ± 1.41	-1.70 ± 1.07	-1.47 ± 1.17	0.854
DMO total	0.97 ± 0.13	0.99 ± 0.14	0.97 ± 0.12	0.871
CMO total	1879.81 ± 281.04	1894.06 ± 298.51	1844.77 ± 249.03	0.870
DMO CF	0.80 ± 0.08	0.82 ± 0.12	0.77 ± 0.08	0.293
T-score CF	-1.36 ± 0.80	-1.30 ± 0.99	-1.64 ± 0.70	0.476
Area CF	4.84 ± 0.35	4.88 ± 0.35	4.81 ± 0.29	0.843
DMO HT	0.84 ± 0.09	0.87 ± 0.14	0.84 ± 0.10	0.727
T-score HT	-1.06 ± 0.89	-0.87 ± 1.21	-1.05 ± 0.91	0.838
SI	1.54 ± 0.41	1.43 ± 0.44	1.49 ± 0.31	0.687

BR	6.11 ± 5.50	6.59 ± 5.67	5.27 ± 2.42	0.719
SM	507.32 ± 105.80	471.15 ± 84.37	449.12 ± 79.69	0.188
CSMI	8396.75 ± 2290.63	7381.69 ± 2570.08	7813.77 ± 1814.42	0.443
CSA	120.75 ± 15.96	119.63 ± 19.19	114.18 ± 12.78	0.459
CSI	3.96 ± 0.66	3.93 ± 0.97	3.73 ± 0.74	0.668
BSI	1.31 ± 0.21	1.35 ± 0.46	1.24 ± 0.29	0.647
ISI	0.25 ± 0.05	0.24 ± 0.06	0.24 ± 0.05	0.839
MG	28409.75 ± 8335.11	30578.19 ± 7365.38	31927.47 ± 12022.81	0.569
MM	36.70 ± 4.45	38.08 ± 4.64	36.18 ± 5.41	0.518
MM MS	3972.13 ± 770.01	4082.13 ± 754.72	3573.82 ± 860.26	0.166
MM MI	11925.88 ± 1587.10	11896.75 ± 1242.76	11503.53 ± 1813.54	0.689
SMI	6.56 ± 1.08	6.67 ± 0.80	6.55 ± 1.06	0.925

DMO = densité minérale osseuse ; CMO = contenu minérale osseuse ; CF = col fémoral ; HT = hanche totale ; SI = strength index ; BR = buckling ratio ; SM = section modulus ; CSMI = cross sectional moment of inertia ; CSA = cross sectional area ; CSI = compression strength index ; BSI = bending strength index ; ISI = impact strength index ; MM = masse maigre ; MG = masse grasse ; MS = membre supérieur ; MI = membre inférieur ; SMI = skeletal mass index

3.4 Les Paramètres Cliniques des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude

Le tableau 3.4 montre qu'il y avait une différence significative dans les valeurs de MCS et de l'AP à intensité élevée entre les groupes lourd-léger et témoin après l'entraînement. De même, dans les valeurs de PCS et de l'AP à intensité élevée entre les groupes Hyper et témoin.

Tableau 3.4 : Tableau récapitulatif des paramètres cliniques des participantes

Paramètres cliniques	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
Poids (kg)	65.47 ± 10.65	68.22 ± 10.56	69.24 ± 16.08	0.686
Taille (m)	1.56 ± 0.07	1.55 ± 0.05	1.52 ± 0.05	0.109
IMC (kg/m ²)	26.91 ± 4.14	28.42 ± 4.09	30.10 ± 6.99	0.234
PSQI	6.63 ± 3.01	6.13 ± 2.55	6.41 ± 2.79	0.879
PCS	52.45 ± 4.68	54.21 ± 2.65 ^b	49.19 ± 5.64	0.009
MCS	53.33 ± 5.77 ^a	49.20 ± 5.88	42.90 ± 10.80	0.002
AP à intensité élevée	90.00 ± 0.00 ^a	90.00 ± 0.00 ^b	0.00 ± 0.00	<0.001
AP à intensité modérée	772.81 ± 662.51	658.44 ± 444.99	722.29 ± 536.56	0.844
AP total (min/semaine)	862.81 ± 662.51	748.44 ± 444.99	722.29 ± 536.56	0.746
Temps assis	9.25 ± 2.44	9.09 ± 2.88	9.18 ± 3.34	0.989

IMC = Indice de masse corporel ; PSQI = Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh ; PCS = Physical component score ; MCS = Mental component score ; AP = activité physique ; ^a = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05) ; ^b = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05)

3.5 Les Mesures des Paramètres de Performance Physique des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude

Le tableau 3.5 montre une différence significative dans les valeurs de 1RM des exercices du DC, Tirage poitrine, shoulder press, Biceps G, Triceps D, Triceps G, Leg Press, Demi-squat et Leg ext entre les groupes d'interventions et le groupe témoin à la fin de l'étude ($P > 0.05$). Aucune différence significative n'a été trouvée dans les valeurs de 1RM du Biceps D, handgrip D, handgrip G et de la détente verticale entre les groupes.

Tableau 3.5 : Tableau récapitulatif des mesures de performance physique des participantes

Performance physique	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
DC	33.31 ± 5.31 ^a	32.58 ± 6.52 ^b	25.48 ± 4.53	<0.001
Tirage poitrine	37.99 ± 4.77 ^a	37.21 ± 5.79 ^b	30.69 ± 4.85	<0.001
Shoulder press	12.58 ± 2.04 ^a	12.19 ± 2.74 ^b	9.01 ± 1.73	<0.001
Biceps D	10.24 ± 2.53	10.03 ± 2.49	8.33 ± 2.29	0.055
Biceps G	10.14 ± 2.44 ^a	10.28 ± 2.50 ^b	7.91 ± 2.22	0.009
Triceps D	6.24 ± 1.14 ^a	6.18 ± 1.24 ^b	4.76 ± 0.96	<0.001
Triceps G	5.92 ± 1.13 ^a	5.95 ± 1.28 ^b	4.72 ± 1.05	0.004
Handgrip D	23.81 ± 4.13	22.78 ± 4.39	20.82 ± 3.75	0.114
Handgrip G	22.69 ± 4.03	22.16 ± 4.87	19.00 ± 4.15	0.039
Leg press	159.03 ± 35.34 ^a	149.93 ± 40.05 ^b	120.75 ± 23.85	0.005
Demi squat	25.66 ± 2.47 ^a	24.03 ± 5.80 ^b	15.44 ± 3.74	<0.001
Leg ext	36.57 ± 5.76 ^a	35.08 ± 5.26 ^b	25.90 ± 5.39	<0.001

DV (cm)	16.31 ± 3.25	14.38 ± 4.41	13.74 ± 3.84	0.151
---------	--------------	--------------	--------------	-------

DC = développé couché ; D = droit ; G = gauche ; Leg ext = Leg extension ; DV = détente verticale ; ^a = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05) ; ^b = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05)

3.6 Les Mesures Osseuses des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude

Le tableau 3.6 montre une différence significative au niveau de la CSI entre les groupes lourd-léger et témoin après l'intervention. De plus, une différence significative apparaît au niveau de la MM MS entre les groupes hyper et témoin.

Tableau 3.6 : Tableau récapitulatif des valeurs osseuses à la fin de l'étude

Mesures osseuses	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
DMO L1-L4	1.01 ± 0.16	0.98 ± 0.12	0.96 ± 0.12	0.573
T-score L1-L4	-1.07 ± 1.37	-1.33 ± 1.09	-1.59 ± 0.89	0.415
DMO total	1.02 ± 0.14	1.02 ± 0.14	0.94 ± 0.09	0.130
CMO total	1940.19 ± 278.78	1935.13 ± 308.19	1810.12 ± 229.18	0.307
DMO CF	0.83 ± 0.09	0.83 ± 0.12	0.75 ± 0.07	0.024
T-score CF	-1.03 ± 0.88	-1.23 ± 0.97	-1.65 ± 0.68	0.105
Area CF	4.96 ± 0.30	4.91 ± 0.35	4.75 ± 0.23	0.117
DMO HT	0.87 ± 0.11	0.89 ± 0.15	0.82 ± 0.09	0.218
T-score HT	-0.78 ± 0.78	-0.79 ± 1.18	-1.09 ± 0.87	0.565
SI	1.58 ± 0.39	1.45 ± 0.42	1.45 ± 0.31	0.527

BR	6.15 ± 5.48	6.61 ± 5.65	5.23 ± 2.45	0.696
SM	514.12 ± 102.14	474.69 ± 84.61	446.51 ± 77.25	0.100
CSMI	8488.88 ± 2275.63	7445.88 ± 2610.23	7745.00 ± 1782.20	0.405
CSA	122.25 ± 15.43	121.00 ± 18.48	111.41 ± 12.02	0.098
CSI	4.27 ± 0.68 ^a	4.11 ± 0.99	3.54 ± 0.60	0.023
BSI	1.45 ± 0.21	1.44 ± 0.52	1.16 ± 0.21	0.029
ISI	0.27 ± 0.05	0.26 ± 0.06	0.23 ± 0.04	0.057
MG	26359.75 ± 7681.44	28503.19 ± 6772.36	32708.65 ± 11803.82	0.135
MM	37.65 ± 4.03	38.85 ± 4.54	36.15 ± 5.37	0.266
MM MS	4170.56 ± 710.32	4247.75 ± 748.94 ^b	3571.18 ± 866.98	0.031
MM MI	12471.50 ± 1396.84	12281.13 ± 1161.16	11488.82 ± 1795.36	0.140
SMI	6.87 ± 1.02	6.90 ± 0.78	6.54 ± 1.06	0.491

DMO = densité minérale osseuse ; CMO = contenu minérale osseuse ; CF = col fémoral ; HT = hanche totale ; SI = strength index ; BR = buckling ratio ; SM = section modulus ; CSMI = cross sectional moment of inertia ; CSA = cross sectional area ; CSI = compression strength index ; BSI = bending strength index ; ISI = impact strength index ; MM = masse maigre ; MG = masse grasse ; MS = membre supérieur ; MI = membre inférieur ; SMI = skeletal mass index ; ^a = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05) ; ^b = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05)

3.7 Différence du Pourcentage de Variation des Paramètres Cliniques des Personnes Âgées

Le pourcentage de variation du poids et de l'IMC était significativement plus faible dans les groupes lourd-léger et hyper par rapport au groupe control. Le pourcentage de variation de MCS était significativement plus élevé dans le groupe hyper par rapport au groupe contrôle. Enfin, aucune modification significative n'a été observé pour les pourcentages de variation des autres paramètres cliniques entre les groupes.

Tableau 3.7 : Tableau récapitulatif de différence du pourcentage de variation des paramètres cliniques des participantes

Paramètres cliniques	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
Poids (kg)	-1.50 ± 1.75 ^a	-1.80 ± 1.53 ^b	1.30 ± 1.69	<0.001
Taille (m)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.000
IMC (kg/m ²)	-1.43 ± 1.77 ^a	-1.83 ± 1.52 ^b	1.32 ± 1.70	<0.001
PSQI	2.77 ± 25.50	-0.70 ± 20.81	3.98 ± 17.25	0.811
PCS	5.28 ± 11.92	6.14 ± 7.05	1.47 ± 9.53	0.344
MCS	14.94 ± 22.50	17.04 ± 19.17 ^b	0.94 ± 11.21	0.028
AP à intensité élevée	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.000
AP à intensité modérée	12.78 ± 31.11	37.43 ± 107.68	1.99 ± 14.18	0.284
AP total (min/semaine)	37.90 ± 53.41	68.62 ± 153.44	1.99 ± 14.18	0.132
Temps assis	-3.24 ± 12.43	-3.70 ± 13.34	-3.68 ± 8.90	0.992

IMC = Indice de masse corporel ; PSQI = Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh ; PCS = Physical component score ; MCS = Mental component score ; AP = activité physique ; ^a = indique une différence

significative par rapport au groupe témoin ($p < 0.05$) ; ^b = indique une différence significative par rapport au groupe témoin ($p < 0.05$)

3.8 Différence du Pourcentage de Variation des Paramètres de Performance Physique des Personnes Âgées

Concernant les paramètres de performance physique, les pourcentages de variations du DC, tirage poitrine, shoulder press, Biceps D/G, Triceps D/G, handgrip D, leg press, demi squat et leg ext étaient significativement plus élevés en lourd-léger et hyper par rapport au témoin. De plus, le pourcentage de variation des tests handgrip G et DV était significativement plus élevé en lourd-léger par rapport au témoin.

Tableau 3.8 : Tableau récapitulatif de différence du pourcentage de variation des mesures de performance physique des participantes

Performance physique	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
DC	36.37 ± 21.48 ^a	31.33 ± 22.02 ^b	-0.21 ± 3.25	<0.001
Tirage poitrine	23 ± 11.49 ^a	18.95 ± 12.16 ^b	-0.44 ± 1.38	<0.001
shoulder press	34.87 ± 24.65 ^a	26.39 ± 13.91 ^b	-0.57 ± 3.48	<0.001
Biceps D	28.28 ± 26.13 ^a	25.92 ± 19.83 ^b	-0.37 ± 2.52	<0.001
Biceps G	25.67 ± 20.95 ^a	27.26 ± 20.64 ^b	-1.55 ± 4.39	<0.001
Triceps D	24.51 ± 16.11 ^a	21.61 ± 20.19 ^b	-1.53 ± 5.44	<0.001
Triceps G	25.78 ± 17.84 ^a	22.23 ± 15.29 ^b	1.75 ± 7.42	<0.001
Handgrip D	6.79 ± 7.59 ^a	3.71 ± 5.1 ^b	-1.99 ± 2.34	<0.001
Handgrip G	9.54 ± 9.05 ^a	6.09 ± 9.28	0.03 ± 3.60	0.003

Leg press	30.52 ± 15.22 ^a	27.64 ± 20.95 ^b	0.77 ± 7.63	<0.001
Demi squat	60.18 ± 28.93 ^a	57.51 ± 27.72 ^b	-0.22 ± 4.03	<0.001
Leg ext	39.03 ± 25.08 ^a	39.03 ± 28.38 ^b	-0.62 ± 1.90	<0.001
DV (cm)	13.15 ± 15.72 ^a	7.39 ± 19.67	-3.44 ± 9.10	0.011

DC = développé couché ; D = droit ; G = gauche ; Leg ext = Leg extension ; DV = détente verticale ; ^a = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05) ; ^b = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05)

3.9 Différence du Pourcentage de Variation des Mesures Osseuses des Personnes Âgées à la Fin de l'Étude

Le tableau 3.9 montre une différence significative du pourcentage de variation au niveau de la DMO L1-L4, DMO total, CMO total, DMO CF, DMO HT, SI, SM, CSMI, CSA, CSI, BSI, ISI, MG, MM, MM MS, MM MI, SMI entre les groupes d'interventions et le groupe témoin. De plus, une différence significative du pourcentage de variation apparaît au niveau du T-score CF, Area CF et BR entre les groupes lourd-léger et témoin. Ainsi, les pourcentages de variations du DMO total, DMO CF, T-score CF et Area CF étaient significativement plus élevés en lourd-léger par rapport au groupe hyper.

Tableau 3.9 : Tableau récapitulatif de différence du pourcentage de variation des valeurs osseuses

Mesures osseuses	Lourd-léger (n = 16)	Hyper (n = 16)	Témoin (n = 17)	P-value
DMO L1-L4	4.72 ± 2.18 ^a	3.70 ± 3.08 ^b	-1.39 ± 1.59	<0.001
T-score L1-L4	-38.99 ± 55.22	-20.78 ± 37.85	-7.61 ± 31.39	0.116
DMO total	5.39 ± 4.31 ^{ac}	2.32 ± 2.11 ^b	-3.07 ± 2.10	<0.001

CMO total	3.30 ± 1.23 ^a	2.17 ± 1.57 ^b	-1.77 ± 2.08	<0.001
DMO CF	3.62 ± 2.06 ^{ac}	1.27 ± 1.59 ^b	-2.19 ± 2.65	<0.001
T-score CF	-42.51 ± 47.47 ^{ac}	-6.23 ± 12.74	4.62 ± 13.59	<0.001
Area CF	2.59 ± 3.04 ^{ac}	0.67 ± 0.75	-1.14 ± 2.13	<0.001
DMO HT	3.61 ± 4.58 ^a	1.91 ± 2.80 ^b	-2.69 ± 4.22	<0.001
T-score HT	-15.45 ± 26.92	-10.80 ± 18.10	9.45 ± 42.80	0.061
SI	3.13 ± 4.35 ^a	2.24 ± 4.01 ^b	-2.43 ± 3.41	<0.001
BR	1.72 ± 3.74 ^a	0.61 ± 1.75	-1.01 ± 2.24	0.020
SM	1.52 ± 1.56 ^a	0.77 ± 1.13 ^b	-0.52 ± 0.96	<0.001
CSMI	1.19 ± 0.60 ^a	0.81 ± 0.97 ^b	-0.85 ± 0.96	<0.001
CSA	1.32 ± 1.01 ^a	1.27 ± 1.27 ^b	-2.37 ± 1.56	<0.001
CSI	7.94 ± 4.03 ^a	4.87 ± 3.16 ^b	-4.52 ± 3.74	<0.001
BSI	10.82 ± 6.81 ^a	6.69 ± 5.62 ^b	-5.54 ± 5.41	<0.001
ISI	7.94 ± 4.03 ^a	4.87 ± 3.16 ^b	-4.52 ± 3.74	<0.001
MG	-6.96 ± 4.18 ^a	-6.60 ± 2.57 ^b	2.93 ± 2.50	<0.001
MM	2.73 ± 2.05 ^a	2.06 ± 0.83 ^b	-0.06 ± 1.40	<0.001
MM MS	5.41 ± 3.86 ^a	4.21 ± 1.71 ^b	-0.06 ± 3.11	<0.001
MM MI	4.88 ± 3.89 ^a	3.35 ± 1.94 ^b	-0.06 ± 2.30	<0.001
SMI	5 ± 3.83 ^a	3.55 ± 1.79 ^b	-0.08 ± 2.45	<0.001

DMO = densité minérale osseuse ; CMO = contenu minérale osseuse ; CF = col fémoral ; HT = hanche totale ; SI = strength index ; BR = buckling ratio ; SM = section modulus ; CSMI = cross sectional moment of inertia ; CSA = cross sectional area ; CSI = compression strength index ; BSI = bending strength index ; ISI = impact strength index ; MM = masse maigre ; MG = masse grasse ; MS = membre supérieur ; MI = membre inférieur ; SMI = skeletal mass index ; ^a = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05) ; ^b = indique une différence significative par rapport au groupe témoin (p<0.05) ; ^c = indique une différence significative par rapport au groupe hyper (p<0.05)

3.10 Les Variations dans les Tests des Paramètres Cliniques suite à l'Intervention

Au départ, il n'y avait pas de différence significative au niveau des paramètres cliniques entre les groupes. En ce qui concerne la mesure du poids et de l'IMC, il y avait un effet de temps et des interactions ont été observées, de sorte que les 2 groupes expérimentaux ont eu une diminution du poids et de l'IMC après l'intervention et le groupe témoin a significativement augmenté ses valeurs. De plus, il y avait un effet du temps sur la mesure de PCS qui a augmenté seulement dans le groupe hyper. En outre, il y avait un effet de temps et de l'interaction (temps et groupe) pour les tests de MCS, de l'AP à intensité élevée et de l'AP total. Cependant, les 2 groupes expérimentaux ont eu une augmentation de ces valeurs. Par contre, aucune modification significative de PSQI, de l'AP à intensité modérée et de temps assis n'a été observée entre les groupes ($P > 0.05$).

Tableau 3.10 : Tableau récapitulatif des paramètres cliniques au début et à la fin de l'étude

Variables	Lourd-léger (n = 16)		Hyper (n = 16)		Témoin (n = 17)		P (groupe)	P (temps)	P (interaction)
	Avant l'entraînement	Après 12 mois	Avant l'entraînement	Après 12 mois	Avant l'entraînement	Après 12 mois			
Poids (kg)	66.56 ± 11.45	65.47 ± 10.65 [†]	69.53 ± 11.04	68.22 ± 10.56 [†]	68.44 ± 16.31	69.24 ± 16.08 [†]	0.774	0.002	<0.001
IMC (kg/m²)	27.33 ± 4.34	26.91 ± 4.14 [†]	28.98 ± 4.30	28.42 ± 4.09 [†]	29.75 ± 7.11	30.10 ± 6.99 [†]	0.333	0.005	<0.001

PSQI	6.94 ± 3.80	6.63 ± 3.01	6.38 ± 2.87	6.13 ± 2.55	6.29 ± 2.85	6.41 ± 2.79	0.865	0.284	0.383
PCS	50.39 ± 6.68	52.45 ± 4.68	51.29 ± 4.24	54.21 ± 2.65 [†]	48.81 ± 6.70	49.19 ± 5.64	0.094	0.004	0.208
MCS	48.13 ± 10.97	53.33 ± 5.77 [†]	43.62 ± 11.15	49.20 ± 5.88 [†]	42.94 ± 11.65	42.90 ± 10.80	0.063	<0.001	0.015
AP à intensité élevée	0.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00 [†]	0.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00 [†]	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	<0.001	<0.001	<0.001
AP à intensité modérée	763.13 ± 701.10	772.81 ± 662.51	650.00 ± 615.55	658.44 ± 444.99	739.65 ± 565.22	722.29 ± 536.56	0.857	0.989	0.786
AP total (min/semaine)	763.13 ± 701.10	862.81 ± 662.51 [†]	650.00 ± 615.55	748.44 ± 444.99 [†]	739.65 ± 565.22	722.29 ± 536.56	0.853	0.002	0.014
Temps assis	9.75 ± 2.82	9.25 ± 2.44	9.53 ± 2.99	9.09 ± 2.88	9.59 ± 3.54	9.18 ± 3.34	0.984	0.008	0.975

IMC = Indice de masse corporel ; PSQI = Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh ; PCS = Physical component score ; MCS = Mental component score ; AP = activité physique

[†] : Indique une différence significative intra-groupe, p<0.05.

3.11 Les Variations de la DMO au niveau des Sites Osseux suite à l'Intervention

Aucune différence significative n'a été observée pour la mesure des performances physiques avant l'intervention. Mais, il y avait un effet du temps et des interactions significatives entre le groupe et le temps sur toutes les mesures de la force musculaire et de la détente verticale. En conséquence, les 2 groupes expérimentaux ont amélioré leurs performances dans les tests de 1RM après 1 an d'entraînement. De plus, seul le groupe lourd-léger a significativement augmenté sa performance de DV.

Tableau 3.11 : Tableau récapitulatif des mesures de performance physique au début et à la fin de l'étude

Variables	Lourd-léger (n = 16)		Hyper (n = 16)		Témoin (n = 17)		P (groupe)	P (temps)	P (interaction)
	Avant l'entraînement	Après 12 mois	Avant l'entraînement	Après 12 mois	Avant l'entraînement	Après 12 mois			
DC	25.06 ± 5.89	33.31 ± 5.31 [†]	25.55 ± 6.75	32.58 ± 6.52 [†]	25.50 ± 4.26	25.48 ± 4.53	0.092	<0.001	<0.001
Tirage poitrine	30.97 ± 3.64	37.99 ± 4.77 [†]	31.50 ± 5.38	37.21 ± 5.79 [†]	30.82 ± 4.78	30.69 ± 4.85	0.043	<0.001	<0.001
Shoulder press	9.52 ± 1.87	12.58 ± 2.04 [†]	9.75 ± 2.45	12.19 ± 2.74 [†]	9.06 ± 1.68	9.01 ± 1.73	0.008	<0.001	<0.001

Biceps D	8.10 ± 2.07	10.24 ± 2.53 [†]	8.17 ± 2.58	10.03 ± 2.49 [†]	8.37 ± 2.33	8.33 ± 2.29	0.520	<0.001	<0.001
Biceps G	8.16 ± 2.10	10.14 ± 2.44 [†]	8.26 ± 2.45	10.28 ± 2.50 [†]	8.03 ± 2.20	7.91 ± 2.22	0.188	<0.001	<0.001
Triceps D	5.06 ± 0.97	6.24 ± 1.14 [†]	5.17 ± 1.16	6.18 ± 1.24 [†]	4.85 ± 1.01	4.76 ± 0.96	0.027	<0.001	<0.001
Triceps G	4.76 ± 1.00	5.92 ± 1.13 [†]	4.93 ± 1.16	5.95 ± 1.28 [†]	4.68 ± 1.17	4.72 ± 1.05	0.117	<0.001	<0.001
Handgrip D	22.47 ± 4.62	23.81 ± 4.13 [†]	21.97 ± 4.23	22.78 ± 4.39 [†]	21.24 ± 3.68	20.82 ± 3.75	0.333	<0.001	<0.001
Handgrip G	20.97 ± 4.78	22.69 ± 4.03 [†]	20.97 ± 4.79	22.16 ± 4.87 [†]	19.12 ± 4.51	19.00 ± 4.15	0.156	<0.001	<0.001
Leg press	121.86 ± 24.02	159.03 ± 35.34 [†]	120.42 ± 35.15	149.93 ± 40.05 [†]	120.49 ± 24.91	120.75 ± 23.85	0.155	<0.001	<0.001
Demi squat	16.53 ± 3.65	25.66 ± 2.47 [†]	15.43 ± 3.93	24.03 ± 5.80 [†]	15.45 ± 3.56	15.44 ± 3.74	<0.001	<0.001	<0.001
Leg ext	27.10 ± 6.38	36.57 ± 5.76 [†]	26.27 ± 6.65	35.08 ± 5.26 [†]	26.11 ± 5.59	25.90 ± 5.39	0.011	<0.001	<0.001
DV	14.78 ± 3.84	16.31 ± 3.25 [†]	13.97 ± 5.34	14.38 ± 4.41	14.41 ± 4.32	13.74 ± 3.84	0.533	0.041	<0.001

DC = développé couché ; D = droit ; G = gauche ; Leg ext = Leg extension ; DV = détente verticale

† : Indique une différence significative intra-groupe, $p < 0.05$.

3.12 Les Variations de la DMO au niveau des Sites Osseux suite à l'Intervention

Aucune différence significative n'a été observée pour la mesure des valeurs osseuses avant l'intervention. Mais, il y avait un effet du temps et des interactions significatives entre le groupe et le temps sur toutes les mesures des valeurs osseuses à l'exception du DMO HT, SI, BR et CSA qui ont eu juste un effet d'interaction significative. En conséquence, le groupe lourd-léger a significativement amélioré les mesures des valeurs osseuses après 1 an d'entraînement. De même, le groupe hyper a significativement augmenté la mesure du DMO L1-L4, T-score L1-L4, DMO total, CMO total, SI, SM, CSMI, CSA, CSI, BSI, ISI. Par contre, le groupe témoin a eu une diminution significative de la DMO L1-L4, DMO total, CMO total, DMO CF, Area CF, DMO HT, SI, CSMI, CSA, CSI, BSI et ISI.

En ce qui concerne la mesure de la MG, il y avait un effet de temps et des interactions ont été observées. Cependant, les 2 groupes expérimentaux ont eu une diminution de la mesure du MG après l'intervention et le groupe témoin a significativement augmenté la mesure de cette valeur. En outre, il y avait un effet de temps et de l'interaction (temps et groupe) pour les mesures de MM, MM MS et SMI, de sorte que les 2 groupes expérimentaux ont eu une augmentation significative de ces valeurs. Par contre, aucune modification significative de MM MI n'a été observée entre les groupes ($P > 0.05$).

Tableau 3.12 : Tableau récapitulatif des valeurs osseuses au début et à la fin de l'étude

Variables	Lourd-léger (n = 16)		Hyper (n = 16)		Témoin (n = 17)		P (groupe)	P (temps)	P (interaction)
	Avant l'entraînement	Après 12 mois	Avant l'entraînement	Après 12 mois	Avant l'entraînement	Après 12 mois			
DMO L1-L4 (g/cm²)	0.96 ± 0.15	1.01 ± 0.16 [†]	0.95 ± 0.12	0.98 ± 0.12 [†]	0.97 ± 0.13	0.96 ± 0.12 [†]	0.867	<0.001	<0.001
T-score L1- L4	-1.54 ± 1.41	-1.07 ± 1.37 [†]	-1.70 ± 1.07	-1.33 ± 1.09 [†]	-1.47 ± 1.17	-1.59 ± 0.89	0.824	<0.001	<0.001
DMO total (g/cm²)	0.97 ± 0.13	1.02 ± 0.14 [†]	0.99 ± 0.14	1.02 ± 0.14 [†]	0.97 ± 0.12	0.94 ± 0.09 [†]	0.506	0.002	<0.001
CMO total	1879.81 ± 281.04	1940.19 ± 278.78 [†]	1894.06 ± 298.51	1935.13 ± 308.19 [†]	1844.77 ± 249.03	1810.12 ± 229.18 [†]	0.585	<0.001	<0.001
DMO CF (g/cm²)	0.80 ± 0.08	0.83 ± 0.09 [†]	0.82 ± 0.12	0.83 ± 0.12	0.77 ± 0.08	0.75 ± 0.07 [†]	0.105	0.015	<0.001
T-score CF	-1.36 ± 0.80	-1.02 ± 0.88 [†]	-1.30 ± 0.99	-1.23 ± 0.97	-1.64 ± 0.70	-1.65 ± 0.68	0.261	<0.001	<0.001
Area CF	4.84 ± 0.35	4.96 ± 0.30 [†]	4.88 ± 0.35	4.91 ± 0.35	4.81 ± 0.29	4.75 ± 0.23 [†]	0.464	0.042	<0.001

DMO HT (g/cm²)	0.84 ± 0.09	0.87 ± 0.11 [†]	0.87 ± 0.14	0.89 ± 0.15	0.84 ± 0.10	0.82 ± 0.09 [†]	0.480	0.145	<0.001
T-score HT	-1.06 ± 0.89	-0.78 ± 0.78 [†]	-0.87 ± 1.21	-0.79 ± 1.18	-1.05 ± 0.91	-1.09 ± 0.87	0.738	0.007	0.004
SI	1.54 ± 0.41	1.58 ± 0.39 [†]	1.43 ± 0.44	1.45 ± 0.42 [†]	1.49 ± 0.31	1.45 ± 0.31 [†]	0.629	0.193	<0.001
BR	6.11 ± 5.50	6.15 ± 5.48 [†]	6.59 ± 5.67	6.61 ± 5.65	5.27 ± 2.42	5.23 ± 2.45	0.708	0.405	0.013
SM	507.32 ± 105.80	514.12 ± 102.14 [†]	471.15 ± 84.37	474.69 ± 84.61 [†]	449.12 ± 79.69	446.51 ± 77.25	0.139	0.002	<0.001
CSMI	8396.75 ± 2290.63	8488.88 ± 2275.63 [†]	7381.69 ± 2570.08	7445.88 ± 2610.23 [†]	7813.77 ± 1814.42	7745.00 ± 1782.20 [†]	0.426	0.008	<0.001
CSA	120.75 ± 15.96	122.25 ± 15.43 [†]	119.63 ± 19.19	121.00 ± 18.48 [†]	114.18 ± 12.78	111.41 ± 12.02 [†]	0.236	0.863	<0.001
CSI	3.96 ± 0.66	4.27 ± 0.68 [†]	3.93 ± 0.97	4.11 ± 0.99 [†]	3.73 ± 0.74	3.54 ± 0.60 [†]	0.185	<0.001	<0.001
BSI	1.31 ± 0.21	1.45 ± 0.21 [†]	1.35 ± 0.46	1.44 ± 0.52 [†]	1.24 ± 0.29	1.16 ± 0.21 [†]	0.189	<0.001	<0.001
ISI	0.25 ± 0.05	0.27 ± 0.05 [†]	0.24 ± 0.06	0.26 ± 0.06 [†]	0.24 ± 0.05	0.23 ± 0.04 [†]	0.326	<0.001	<0.001

MG	28409.75 ± 8335.11	26359.75 ± 7681.44 [†]	30578.19 ± 7365.38	28503.19 ± 6772.36 [†]	31927.47 ± 12022.81	32708.65 ± 11803.82 [†]	0.319	<0.001	<0.001
MM	36.70 ± 4.45	37.65 ± 4.03 [†]	38.08 ± 4.64	38.85 ± 4.54 [†]	36.18 ± 5.41	36.15 ± 5.37	0.392	<0.001	<0.001
MM MS	3972.13 ± 770.01	4170.56 ± 710.32 [†]	4082.13 ± 754.72	4247.75 ± 748.94 [†]	3573.82 ± 860.26	3571.18 ± 866.98	0.076	<0.001	<0.001
MM MI	11925.88 ± 1587.10	12471.50 ± 1396.84	11896.75 ± 1242.76	12281.13 ± 1161.16	11503.53 ± 1813.54	11488.82 ± 1795.36	0.508	0.844	0.335
SMI	6.56 ± 1.08	6.87 ± 1.02 [†]	6.67 ± 0.80	6.90 ± 0.78 [†]	6.55 ± 1.06	6.54 ± 1.06	0.761	<0.001	<0.001

DMO = densité minérale osseuse ; CMO = contenu minérale osseuse ; CF = col fémoral ; HT = hanche totale ; SI = strength index ; BR = buckling ratio ; SM = section modulus ; CSMI = cross sectional moment of inertia ; CSA = cross sectional area ; CSI = compression strength index ; BSI = bending strength index ; ISI = impact strength index ; MM = masse maigre ; MG = masse grasse ; MS = membre supérieur ; MI = membre inférieur ; SMI = skeletal mass index

[†] : Indique une différence significative intra-groupe, p<0.05.

3.13 Corrélations entre les Caractéristiques Cliniques et les Mesures Osseuses des Participantes au Début de l'Intervention

Dans la population entière, l'âge était positivement corrélé à la valeur de BR. Le poids, l'IMC et la MG étaient positivement corrélés aux valeurs de la DMO total, le CMO total et la DMO HT, et négativement corrélés aux valeurs de SI, CSI, BSI et ISI. La MM était positivement corrélée aux valeurs de la DMO total, le CMO total, la DMO L1-L4, la DMO CF, la DMO HT, SM, CSMI, CSA et négativement corrélée aux valeurs de SI et BR. La MM MS était positivement corrélée aux valeurs de la DMO total, le CMO total, la DMO CF, la DMO HT, CSA. La MM MI était positivement corrélée aux valeurs de la DMO total, le CMO total, la DMO L1-L4, la DMO CF, la DMO HT, SM, CSMI et CSA. Concernant le test de GPAQ, on a trouvé une corrélation positive uniquement entre la durée du temps assis et la valeur de BR. Le PSQI et les composantes du questionnaire SF-12 n'étaient pas corrélés aux paramètres osseux.

Tableau 3.13 : Corrélations entre les caractéristiques cliniques et les valeurs osseuses au début de l'étude

	DMO total	CMO total	DMO L1-L4	DMO CF	DMO HT	SI	BR	SM	CSMI	CSA	CSI	BSI	ISI
Age	-0.28	-0.18	-0.22	-0.10	-0.08	-0.12	0.32*	-0.22	-0.25	-0.17	-0.01	0.09	-0.08
Poids	0.48***	0.50***	0.26	0.25	0.46**	-0.50***	-0.24	0.17	0.17	0.26	-0.58***	-0.48***	-0.50***
IMC	0.33*	0.30*	0.12	0.20	0.46**	-0.43**	-0.18	-0.02	-0.01	0.10	-0.55***	-0.43**	-0.48**
MG	0.35**	0.37**	0.18	0.09	0.31*	-0.52***	-0.19	-0.04	0.07	0.09	-0.57***	-0.48***	-0.51***
MM	0.57***	0.65***	0.40**	0.44**	0.53***	-0.31*	-0.29*	0.33*	0.29*	0.48***	-0.28	-0.19	-0.22
MM MS	0.45***	0.50***	0.25	0.45**	0.55***	-0.27	-0.22	0.21	0.08	0.41**	-0.24	-0.14	-0.22

MM MI	0.49***	0.65***	0.40**	0.41**	0.42**	-0.21	-0.20	0.33*	0.34*	0.48***	-0.16	-0.04	-0.14
PSQI	-0.09	-0.08	-0.02	-0.04	-0.09	0.01	-0.05	-0.17	-0.11	-0.13	0.02	-0.06	-0.01
PCS	0.13	0.27	0.10	0.20	0.10	-0.10	0.06	0.14	0.10	0.24	-0.11	-0.05	-0.13
MCS	0.14	0.03	0.21	0.01	0.09	0.05	-0.17	0.06	0.16	0.06	-0.00	-0.06	-0.03
AP modérée	0.15	0.12	0.07	0.07	0.23	0.20	-0.07	0.23	0.15	0.18	-0.06	-0.07	-0.04
AP total	0.15	0.12	0.07	0.07	0.23	0.20	-0.07	0.23	0.15	0.18	-0.06	-0.07	-0.04
Temps assis	-0.21	-0.09	-0.15	-0.01	-0.08	-0.08	0.33*	0.05	0.04	-0.03	-0.12	-0.11	-0.12

DMO: densité minéral osseuse; CMO: contenu minéral osseux; CF: col fémoral; HT: hanche totale; SI: strength index; BR: buckling ratio; SM: section modulus; CSMI: cross-sectional moment of inertia; CSA: cross-sectional area; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; IMC: indice de masse corporelle; MG: masse grasse; MM: masse maigre; MS: membre supérieur; MI: membre inférieure; PSQI: Pittsburgh sleep quality index; PCS: physical component score; MCS: mental component score; AP: activité physique; * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001.

3.14 Corrélations entre les Paramètres de Performance Physique et les Mesures Osseuses des Participantes au Début de l'Intervention

Avant l'intervention, le test de DC était positivement corrélé à la DMO CF. Le 1RM tirage poitrine était positivement corrélé aux valeurs de la DMO totale, le CMO total, la DMO L1-L4, la DMO CF et la DMO HT. Le 1RM shoulder press était positivement corrélé aux valeurs de la DMO totale, le CMO total, la DMO L1-L4, la DMO CF, la DMO HT et CSA. Le 1RM biceps D et le 1RM biceps G étaient positivement corrélés aux valeurs de la DMO totale, le CMO total, la DMO L1-L4, la DMO CF, la DMO HT, SM, CSMI, CSA, CSI BSI et ISI. Le 1RM triceps G était positivement corrélé aux valeurs du CMO total, la DMO L1-L4 et la DMO CF. Le handgrip D était positivement corrélé aux valeurs de SM et CSMI. Le 1RM demi-squat était positivement corrélé aux valeurs de la DMO total, la DMO HT et CSA. Le test du saut vertical était positivement corrélé aux valeurs de SI, CSI, BSI et ISI. Le 1RM triceps D, le handgrip G, le 1RM leg press et le 1RM leg ext n'étaient pas corrélés aux paramètres osseux.

Tableau 3.14 : Corrélations entre les paramètres de performance physique et les valeurs osseuses au début de l'étude

	DMO total	CMO total	DMO L1-L4	DMO CF	DMO HT	SI	BR	SM	CSMI	CSA	CSI	BSI	ISI
DC (kg)	0.04	0.17	0.05	0.34*	0.25	-0.06	0.03	0.01	-0.08	0.16	0.14	0.16	0.15
Tirage poitrine (kg)	0.29*	0.37*	0.35*	0.32*	0.35*	0.05	-0.08	0.19	0.17	0.25	0.14	0.20	0.16
Shoulder press (kg)	0.49***	0.50***	0.41**	0.45**	0.41**	0.09	-0.21	0.22	0.27	0.39**	0.22	0.26	0.20

Biceps D (kg)	0.39**	0.45**	0.52***	0.39**	0.33*	0.19	-0.06	0.34*	0.34*	0.41**	0.34*	0.42**	0.30*
Biceps G (kg)	0.37*	0.43**	0.47***	0.37**	0.29*	0.17	-0.10	0.37*	0.34*	0.38**	0.36*	0.40**	0.34*
Triceps D (kg)	0.23	0.27	0.26	0.26	0.15	-0.07	-0.22	0.20	0.24	0.19	0.16	0.19	0.18
Triceps G (kg)	0.28	0.30*	0.32*	0.37**	0.28	-0.00	-0.12	0.17	0.14	0.26	0.18	0.23	0.19
Handgrip D (kg)	0.18	0.27	0.20	0.15	0.07	-0.08	-0.10	0.29*	0.30*	0.18	-0.09	-0.14	-0.02
Handgrip G (kg)	0.10	0.12	-0.03	0.20	0.08	-0.06	-0.15	0.06	0.03	0.06	0.08	0.04	0.13
Leg press (kg)	0.18	0.12	0.04	0.15	0.21	0.10	-0.04	0.01	-0.17	0.21	-0.08	-0.01	-0.11
Demi-squat (kg)	0.37*	0.26	0.22	0.25	0.35*	0.09	-0.21	0.10	-0.07	0.30*	-0.00	0.00	-0.01
Leg ext (kg)	0.13	0.12	-0.01	0.11	0.08	0.16	-0.17	0.07	-0.12	0.18	0.05	0.08	0.02
Saut vertical (cm)	0.10	0.13	0.05	0.21	-0.01	0.40**	-0.14	0.26	0.17	0.26	0.41**	0.31*	0.44**

DMO: densité minérale osseuse; CMO: contenu minéral osseux; CF: col fémoral; HT: hanche totale; SI: strength index; BR: buckling ratio; SM: section modulus; CSMI: cross-sectional moment of inertia; CSA: cross-sectional area; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; DC: developpe couché ; D: droit; G: gauche; * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001.

3.15 Corrélations entre les Variations des Paramètres de Performance Physique et celles des Mesures Osseuses des Participantes à la Fin de l'Intervention

Le pourcentage de variation des paramètres de performance physique était positivement corrélé à la majorité des mesures osseuses à la fin de l'intervention dans la population entière (n = 49).

Tableau 3.15 : Corrélations entre les variations des paramètres de performance physique et celles des valeurs osseuses à la fin de l'étude

	DMO total	CMO total	DMO L1-L4	DMO CF	DMO HT	SI	BR	SM	CSMI	CSA	CSI	BSI	ISI
DC (kg)	0.40**	0.57***	0.51***	0.61***	0.48***	0.49***	0.51***	0.21	0.67***	0.62***	0.58***	0.45**	0.58***
Tirage poitrine (kg)	0.48***	0.67***	0.62***	0.70***	0.49***	0.52***	0.39**	0.40**	0.72***	0.72***	0.72***	0.62***	0.72***
Shoulder press (kg)	0.52***	0.49***	0.51***	0.52***	0.58***	0.45**	0.51***	0.34*	0.55***	0.54***	0.51***	0.43**	0.51***
Biceps D (kg)	0.41**	0.47***	0.39**	0.49***	0.32*	0.54***	0.20	0.41**	0.46***	0.56***	0.61***	0.56***	0.61***
Biceps G (kg)	0.43**	0.49***	0.44**	0.49***	0.37**	0.49***	0.23	0.40**	0.43**	0.55***	0.62***	0.57***	0.62***
Triceps D (kg)	0.48***	0.41**	0.50***	0.42**	0.52***	0.20	0.40**	0.27	0.36*	0.45**	0.45**	0.40**	0.45**
Triceps G (kg)	0.49***	0.41**	0.61***	0.37**	0.44**	0.29*	0.47***	0.29*	0.45**	0.44**	0.42**	0.37**	0.42**
Handgrip D (kg)	0.74***	0.59***	0.56***	0.44**	0.39**	0.24	0.34*	0.41**	0.51***	0.52***	0.41**	0.34*	0.41**

Handgrip G (kg)	0.51***	0.45**	0.30*	0.52***	0.31*	0.34*	0.19	0.21	0.35*	0.41**	0.43**	0.34*	0.43**
Leg press (kg)	0.45**	0.49***	0.60***	0.57***	0.44**	0.54***	0.35*	0.33*	0.55***	0.59***	0.57***	0.46***	0.57***
Demi-squat (kg)	0.44**	0.54***	0.54***	0.48***	0.41**	0.33*	0.09	0.45**	0.50***	0.65***	0.63***	0.60***	0.63***
Leg ext (kg)	0.37**	0.47***	0.55***	0.50***	0.46***	0.43**	0.27	0.26	0.51***	0.57***	0.59***	0.52***	0.59***
Saut vertical (cm)	0.44**	0.39**	0.25	0.39**	0.37**	0.47***	0.36*	0.29*	0.52***	0.45**	0.38**	0.29*	0.38**

DMO: densité minérale osseuse; CMO: contenu minéral osseux; CF: col fémoral; HT: hanche totale; SI: strength index; BR: buckling ratio; SM: section modulus; CSMI: cross-sectional moment of inertia; CSA: cross-sectional area; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; DC: developpe couché; D: droit; G: gauche; * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001.

3.16 Corrélations entre les Variations des Paramètres de Performance Physique et celles des Mesures Osseuses des Participantes des Groupes d'Entraînement à la Fin de l'Intervention

A la fin de l'intervention, les corrélations entre les variations des paramètres de performance physique et celles des mesures osseuses propres aux femmes des groupes expérimentaux sont les suivantes : le 1RM DC était positivement corrélé au BR et CSMI. Le 1RM tirage poitrine était positivement corrélé aux valeurs de la DMO CF, CSMI, CSA, CSI et ISI. Le 1RM shoulder press était positivement corrélé aux valeurs de la DMO HT et BR. Le 1RM biceps D était positivement corrélé aux valeurs de SI, CSI et ISI. Le 1RM triceps D était positivement corrélé à la DMO HT. Le 1RM triceps G était positivement corrélé à la valeur de BR. Le handgrip D était positivement corrélé aux valeurs de la DMO total et le CMO total. Le handgrip G était positivement corrélé à la valeur de la DMO CF. le test du saut vertical était positivement corrélé aux valeurs de SI, CSMI et CSA. Le 1RM biceps G, le 1RM leg press, le 1RM demi-squat et le 1RM leg ext n'étaient pas corrélés aux paramètres osseux.

Tableau 3.16 : Corrélations entre les variations des paramètres de performance physique et celles des valeurs osseuses des participantes des groupes d'entraînement à la fin de l'étude

	DMO total	CMO total	DMO L1-L4	DMO CF	DMO HT	SI	BR	SM	CSMI	CSA	CSI	BSI	ISI
DC (kg)	-0.20	0.11	-0.01	0.35	0.21	0.22	0.43*	-0.29	0.50**	0.22	0.06	-0.15	0.06
Tirage poitrine (kg)	-0.11	0.30	0.17	0.50**	0.16	0.26	0.21	-0.01	0.53**	0.43*	0.36*	0.16	0.36*
Shoulder press (kg)	0.07	-0.10	0.01	0.13	0.43*	0.17	0.44*	-0.06	0.16	-0.04	-0.09	-0.17	-0.09
Biceps D (kg)	-0.01	0.05	-0.10	0.20	0.01	0.38*	-0.02	0.14	0.10	0.26	0.35*	0.27	0.35*

Biceps G (kg)	-0.06	0.00	-0.07	0.12	0.06	0.25	-0.05	0.10	-0.01	0.15	0.28	0.22	0.28
Triceps D (kg)	0.05	-0.24	0.08	-0.04	0.38*	-0.27	0.24	-0.11	-0.13	-0.22	-0.13	-0.15	-0.13
Triceps G (kg)	0.06	-0.24	0.34	-0.08	0.20	-0.02	0.35*	-0.10	-0.01	-0.19	-0.17	-0.20	-0.17
Handgrip D (kg)	0.60***	0.36*	0.27	0.16	0.14	-0.08	0.20	0.17	0.26	0.15	-0.07	-0.16	-0.07
Handgrip G (kg)	0.35	0.34	-0.04	0.40*	0.10	0.20	0.09	-0.01	0.13	0.13	0.20	0.05	0.20
Leg press (kg)	-0.03	-0.04	0.24	0.29	0.24	0.30	0.23	-0.03	0.19	0.16	0.14	-0.03	0.14
Demi-squat (kg)	-0.30	-0.27	-0.13	-0.18	-0.06	-0.21	-0.40	0.05	-0.18	0.06	-0.02	0.04	-0.02
Leg ext (kg)	-0.23	-0.16	0.11	0.09	0.20	0.13	0.04	-0.18	0.07	0.09	0.13	0.05	0.13
Saut vertical (cm)	0.28	0.23	-0.06	0.28	0.29	0.46**	0.33	0.12	0.41*	0.38*	0.20	0.06	0.20

DMO: densité minéral osseuse; CMO: contenu minéral osseux; CF: col fémoral; HT: hanche totale; SI: strength index; BR: buckling ratio; SM: section modulus; CSMI: cross-sectional moment of inertia; CSA: cross-sectional area; CSI: compression strength index; BSI: bending strength index; ISI: impact strength index; DC: developpe couché; D: droit; G: gauche; * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

3.17 Evolution de la Proportion de Participantes Ostéoporotiques

La détection de l'ostéoporose avant la survenue de fracture dépend de plusieurs facteurs, notamment la mesure de la densité minérale osseuse (DMO) et le calcul du T-score. Nous cherchons dans cette partie à comparer la prévalence des femmes ostéoporotiques pour les trois groupes en pré et post intervention. Pour ce faire, on a utilisé le calcul de T-score par DEXA au niveau de la colonne lombaire et du col fémoral. Comprendre l'évolution de la proportion des femmes ostéoporotiques est efficace pour le choix des stratégies d'intervention efficaces.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les femmes ayant un T-score inférieur à 2.5 déviation standard entre la DMO mesuré chez un individu et la DMO moyenne de la population de référence à l'âge adulte de même sexe, sont considérées ostéoporotiques.

Concernant l'évolution de l'ostéoporose au niveau lombaire, aucun changement n'est détecté dans le groupe témoin, pour le groupe lourd-léger 3 ostéoporotiques de moins et pour le groupe hypertrophie 3 ostéoporotiques de moins.

Tableau 3.17 : Evolution de la prévalence de l'ostéoporose au niveau lombaire par la mesure de T-score lombaire

Groupe	Classification	Avant	Après
Témoin	Normal	6	6
	Ostéopénie	9	9
	Ostéoporose	2	2
Lourd-léger	Normal	5	5
	Ostéopénie	6	9
	Ostéoporose	5	2
Hypertrophie	Normal	4	6
	Ostéopénie	8	9
	Ostéoporose	4	1

Concernant l'évolution de l'ostéoporose au niveau du col fémoral, aucun changement n'est détecté dans le groupe témoin et le groupe hypertrophie, pour le groupe lourd-léger 1 ostéoporotique de moins.

Tableau 3.18 : Evolution de la prévalence de l'ostéoporose au niveau du col fémoral par la mesure de T-score CF

Groupe	Classification	Avant	Après
Témoin	Normal	3	3
	Ostéopénie	11	11
	Ostéoporose	3	3
Lourd-léger	Normal	7	9
	Ostéopénie	7	6
	Ostéoporose	2	1
Hypertrophie	Normal	6	6
	Ostéopénie	9	9
	Ostéoporose	1	1

CHAPITRE 4

DISCUSSION GÉNÉRALE

Notre étude avait pour objectif d'explorer les effets de deux programmes d'entraînement physique (lourd-léger vs. hypertrophie) sur les paramètres osseux chez 49 femmes âgées saines ; la durée de l'intervention était de 12 mois. Les deux méthodes d'entraînement ont montré des effets positifs sur les paramètres osseux et sur la force maximale.

Cette étude montre principalement que les deux modalités d'entraînement ont été efficaces pour améliorer les caractéristiques anthropométriques, la composition corporelle, la qualité de vie (évalué par le questionnaire SF-12), le niveau d'activité physique (évalué par le questionnaire GPAQ), les forces musculaires et les paramètres osseux. De plus, cette étude montre aussi que l'entraînement lourd-léger à vitesse élevée est plus efficace que l'entraînement d'hypertrophie pour l'amélioration de la détente verticale, de la DMO HT et de la DMO CF. Le groupe hypertrophie a présenté une amélioration du PCS (SF-12) plus importante que le groupe lourd-léger. Les deux modalités d'entraînement n'étaient pas efficaces pour entraîner une modification significative de PSQI indiquant ainsi un manque d'effet sur la qualité de sommeil.

4.1 Valeurs pré-intervention

- Comparaison entre les trois groupes

Les mesures anthropométriques, les paramètres osseux et les niveaux de performance physique n'étaient pas significativement différents entre les 3 groupes avant intervention. De plus, aucune différence significative n'apparaît en termes des scores des questionnaires de PSQI, de la SF-12 et de GPAQ.

- Corrélations entre les valeurs pré intervention

Concernant les paramètres anthropométriques, le poids et l'IMC étaient associés positivement aux valeurs de DMO total, CMO total et DMO HT, ce qui est également montré dans des études précédentes (Evans et coll., 2015 ; Reid, 2010). La DMO est affectée par le poids du corps qui influence le métabolisme osseux par l'augmentation

de la charge mécanique sur les os selon la loi de Frost et par l'augmentation de certaines hormones chez les femmes ménopausées, notamment les œstrogènes, l'insuline et la leptine (Iwaniec et Turner., 2016 ; Zhu et coll., 2014). Par contre, des corrélations négatives ont été retrouvées entre ces paramètres et les valeurs de SI, CSI, BSI et ISI. Ceci a été retrouvé dans une étude précédente (El khoury et coll., 2017).

Concernant les paramètres de la composition corporelle, de nombreuses corrélations ont été retrouvées entre les paramètres osseux et les valeurs de la MG, MM, MM MS et MM MI. Ces résultats sont en accord avec les résultats d'autres études menées dans la population libanaise (Nasr et coll., 2019 ; Nasr et coll., 2020).

La relation graisse-os est exprimée par des facteurs hormonaux qui agissent comme régulateurs du métabolisme osseux. La sécrétion des œstrogènes, de l'insuline et de la leptine entraîne des effets anabolisants sur les os (Reid, 2013).

La corrélation entre la MM et la DMO du col fémoral était significativement plus élevée que la corrélation entre la MG et la DMO CF. En effet, chez les femmes ménopausées, la MM a un effet plus important sur la DMO que la MG, ce qui souligne l'efficacité de l'activité physique dans la prévention de la perte osseuse et de l'ostéoporose chez les personnes âgées.

Avant l'intervention, les paramètres de force maximale des membres supérieurs étaient positivement corrélés à plusieurs paramètres osseux. Le 1-RM biceps était le facteur le plus fortement corrélé à ces paramètres. La force maximale en demi-squat était corrélée aux valeurs de la DMO totale, de la DMO HT et de la CSA. Ces résultats confirment ceux de plusieurs études menées chez les personnes âgées qui suggèrent un rôle positif de l'augmentation de la force musculaire sur la DMO (Suominen, 2006 ; Nasr et coll., 2020).

Des corrélations positives ont été retrouvées entre le test du saut vertical et les valeurs des indices de résistance osseuse de Karlamangla (CSI, BSI, ISI).

Contrairement à la littérature, nous n'observons pas de corrélations significatives entre les questionnaires de GPAQ, de SF-12 et de PSQI et les paramètres osseux.

4.2 Valeurs post intervention

- Comparaison entre les trois groupes

A la fin de l'étude, nous ne retrouvons pas de différences significatives entre les groupes au niveau des mesures anthropométriques, des paramètres osseux et de la composition corporelle à l'exception du CSI et du MM MS. La valeur de CSI était significativement plus élevée pour le groupe lourd-léger par rapport au groupe témoin. Le CSI reflète la capacité du col fémoral à résister une force de compression axiale et peut prédire l'incidence de fracture de la hanche. Une étude menée chez des femmes ménopausées libanaises a montré que le CSI est associée à des antécédents de fractures ostéoporotiques (Ayoub et coll., 2014). De même, il a été démontré que les indices de résistance osseuse sont inversement associés au risque de fracture de la hanche chez les femmes âgées de différents pays (Karlamañla et coll., 2004).

Par conséquent, notre étude peut prédire que le groupe lourd-léger à vitesse rapide présente une tendance à être moins prédisposé à la fracture que le groupe hypertrophie à vitesse spontanée.

La tendance à l'augmentation de la MM MS dans les deux groupes entraînés avec une différence significative entre le groupe hypertrophie et le groupe témoin après l'entraînement semble logique du fait que les cellules musculaires ont la capacité de s'hypertrophier à tous les âges de la vie suite à la pratique des exercices contre résistance (Michel et coll., 2009).

Concernant le niveau d'activité physique, nous avons observé une différence significative au niveau du GPAQ à intensité élevée entre les groupes entraînés et le groupe contrôle après l'intervention. Ces résultats montrent que les participantes sont devenues plus actives.

Suite à l'entraînement, les scores du questionnaire SF-12 sur la qualité de vie sont augmentés pour les valeurs de PCS et MCS dans les groupes entraînés par rapport au groupe témoin. Ces résultats sont similaires à ceux de l'étude menée par Vagetti et coll. (2014) qui a trouvé une corrélation significative entre la qualité de vie et l'activité physique chez la population âgée.

Concernant les performances physiques, la plupart des tests 1-RM était significativement supérieurs dans les groupes entraînés par rapport au groupe contrôle. En effet, l'entraînement de résistance influence positivement la force maximale engendrée par le muscle chez les personnes âgées. Par contre, aucune différence significative n'a été retrouvée dans la valeur de la DV entre les groupes après l'entraînement.

4.3 Effets de l'entraînement

Dans le groupe lourd-léger, le poids, l'IMC et la masse grasse ont significativement diminué alors que la masse maigre, la masse maigre du membre supérieur et le SMI ont significativement augmenté. Ces résultats suggèrent donc que ce type d'entraînement est efficace pour améliorer les mesures anthropométriques et la composition corporelle chez les femmes âgées. Concernant les paramètres de performance physique, la force maximale des exercices des membres et la détente verticale ont significativement augmenté. Donc, l'engagement dans un programme d'entraînement de puissance peut significativement améliorer la force maximale et la détente verticale chez des femmes âgées ce qui est en accord avec l'étude de Ramírez-Campillo et coll. (2014). Toutes les valeurs osseuses mesurées ont significativement augmenté malgré une perte significative de poids. Ces résultats montrent l'importance et l'efficacité de l'entraînement lourd-léger qui inclut des variations dans l'intensité de la charge et la vitesse du mouvement pour améliorer les paramètres osseux chez les femmes âgées. Cette étude est la première étude qui a rapporté une augmentation de la DMO de tous les sites osseux évalués après 1 an d'entraînement de résistance en contraste de charge. En effet, des études précédentes utilisant un programme d'entraînement, ressemblant à notre protocole, ont rapporté uniquement un maintien de la DMO au niveau de la hanche et de la colonne lombaire (Stengel et coll., 2005 ; Stengel et coll., 2007). Ceci pourrait être expliqué par le fait que les participantes à ces études ont déjà participé à un programme d'entraînement physique avant l'intervention, ce qui va limiter les améliorations au niveau des tissus osseux. De plus, ils n'ont pas utilisé un entraînement simultané de force maximale et de puissance maximale durant la même série comme c'est le cas dans notre étude. Alors qu'il est important de s'entraîner simultanément pour la force afin de fournir une bonne base pour le développement de la puissance.

Dans le groupe hypertrophie, nous avons observé que le poids, l'IMC et la masse grasse ont significativement diminué alors que la masse maigre, la masse maigre du membre supérieur et le SMI ont significativement augmenté. Ces résultats suggèrent que l'entraînement en hypertrophie est efficace pour améliorer la composition corporelle chez les femmes âgées. Concernant les paramètres de performance physique, la force maximale des membres a significativement augmenté avec une tendance non significative à l'augmentation de la DV. Ce résultat était attendu puisqu'il y a un consensus sur le fait que les sujets âgés peuvent augmenter leur force maximale après un entraînement de résistance (American College of Sports Medicine, 2009).

La DMO L1-L4, la DMO total, le CMO total, les indices géométriques de Beck et les indices de résistance osseuse de Karlamangla (CSI, BSI, ISI) ont significativement augmenté. Ces résultats sont compatibles avec ceux des études précédentes qui ont rapporté l'efficacité de l'entraînement de force à une intensité élevée à promouvoir une réponse ostéogénique chez les femmes âgées (Marques et coll., 2011 ; Bembem et Bembem, 2011). Par contre, l'entraînement hypertrophie n'a pas été suffisant pour engendrer une modification significative de la DMO au niveau de la H totale et du CF, ce qui est en accord avec des études précédentes utilisant des programmes d'entraînement similaires (Rhodes et coll., 2000 ; Von Stengel et coll., 2007).

Dans le groupe témoin, le poids, l'IMC et la masse grasse ont significativement augmenté sans changements significatifs au niveau de la masse maigre. Ainsi, une tendance non significative à la diminution des paramètres de performance physique dans le groupe témoin a été observée. Concernant les paramètres osseux, la DMO L1-L4, la DMO totale, le CMO total, la DMO CF, la DMO HT, le SI, le CSMI, la CSA et les indices de résistance osseuse de Karlamangla ont significativement diminué. Ces résultats renforcent l'efficacité des deux programmes d'entraînement utilisés dans notre étude pour prévenir la perte osseuse.

Concernant le niveau d'activité physique, nous avons observé des interactions (groupe * temps) significatives au niveau des résultats du GPAQ. Les GPAQ à intensité élevée et totale ont significativement augmenté pour les deux groupes entraînés dans les deux interventions avec une diminution non significative dans le groupe contrôle. Ceci pourrait expliquer pourquoi les limitations physiques vont être diminuées suite à la pratique d'un entraînement physique.

Nous avons aussi observé un effet de temps pour la mesure du PCS de la SF-12 avec une augmentation significative seulement dans le groupe hypertrophie. Ainsi, la MCS de la SF-12 a augmenté dans les deux groupes entraînés sans aucun changement dans le groupe témoin. Cette amélioration de la qualité de vie chez les participantes après l'entraînement physique est en accord avec la littérature (Sarkisian et coll., 2007).

4.4 Pourcentages de variations

L'analyse de comparaison des pourcentages de variations entre les trois groupes a montré que les deux groupes entraînés ont diminué de manière comparable le poids, l'IMC, la masse grasse et augmenté de manière comparable la force musculaire, la masse maigre, la DMO lombaire, le CMO total, la DMO HT, les indices géométriques de Beck et les indices de résistance osseuse de Karlamangla. L'entraînement lourd-léger était plus efficace que l'entraînement en hypertrophie pour l'amélioration de la force maximale du Handgrip G, de la détente verticale et les pourcentages de variations de la DMO totale, DMO CF, T-score CF et Area CF étaient significativement plus élevés en lourd-léger par rapport au groupe hypertrophie. Nous avons spécifiquement modifié la vitesse des mouvements concentriques lors de l'exécution des exercices de force (dans le groupe lourd-léger), ce qui se traduit par une différence des stimulus mécaniques entraînant des différences de la DMO dans les groupes de notre étude. Par contre, le groupe contrôle n'a pas modifié ses performances dans ces mesures.

Nos résultats indiquent un effet similaire positif de l'entraînement en résistance à vitesse élevée et à vitesse spontanée sur les mesures anthropométriques, la composition corporelle et la force maximale des membres des femmes âgées. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés précédemment pour des sujets âgés soumis à des programmes d'entraînement en résistance à haute vitesse et à basse vitesse (Henwood, Riek et Taaffe, 2008 ; Sayers et Gibson, 2010).

Enfin, seul le groupe lourd-léger a eu un effet d'entraînement significativement plus élevé dans la performance de la DV par rapport au groupe témoin, ce qui renforce les résultats de l'étude menée par Ramírez-Campillo et coll. (2014). Ces résultats suggèrent que, par rapport à un entraînement de résistance traditionnel, l'entraînement de résistance à vitesse élevée peut offrir un effet d'entraînement sur la puissance

musculaire plus élevé pour les muscles du bas du corps. Ce qui est plus bénéfique dans la performance fonctionnelle des tâches quotidiennes du fait que la puissance musculaire est plus étroitement associée à la performance des activités de la vie quotidienne que la force musculaire (Hazell et coll., 2007).

Concernant les mesures du test SF-12, le pourcentage de variation de MCS était significativement plus élevé dans le groupe hyper par rapport au groupe contrôle. L'entraînement en hypertrophie semble plus intéressant que l'entraînement lourd-léger pour l'amélioration de la qualité de vie des personnes âgées.

En résumé, ce travail de recherche démontre clairement la supériorité de l'entraînement de résistance en contraste de charge par rapport à l'entraînement hypertrophie sur la DMO totale et la DMO CF, sûrement du fait des contraintes ostéoarticulaires plus importantes engendrées par l'exécution des mouvements à vitesse élevée.

4.5 Evolution de la prévalence de l'ostéoporose

Afin de souligner l'efficacité de nos programmes d'entraînement pour lutter contre l'ostéoporose, nous avons étudié la variation de la prévalence de l'ostéoporose en pré et post intervention lors de l'utilisation de la mesure de T-score au niveau de la colonne lombaire et du col fémoral.

Au niveau de la colonne lombaire, cette prévalence a varié de 31,25 % en pré à 12,5 % en post intervention dans le groupe lourd-léger et de 25 % en pré à 6,25 % en post intervention dans le groupe hypertrophie. Par contre, elle est restée la même (11,76 %) en pré et post intervention dans le groupe contrôle.

Concernant l'évolution de l'ostéoporose au niveau du col fémoral, cette prévalence a varié de 12,5 % en pré à 6,25 % en post intervention dans le groupe lourd-léger. Par contre, elle est restée la même (6,25 %) en pré et post intervention et (17,65 %) en pré et post intervention respectivement dans le groupe hypertrophie et le groupe contrôle.

Les deux interventions semblent plus efficaces au niveau de la colonne lombaire qu'au niveau du col fémoral, ce qui est en accord avec la littérature qui a prouvé que les zones osseuses riches en tissu trabéculaire (majoritaire dans les vertèbres) présentent une réponse ostéogénique plus rapide et plus importante que les zones squelettiques riches

en tissu cortical (majoritaire dans l'extrémité supérieure du fémur). Dans ce sens, Bérard, Bravo et Gauthier (1997) ont montré d'après leur méta-analyse effectuée en 1997 que les programmes d'exercices dans une population de femmes ménopausées de plus de 50 ans sont efficaces pour prévenir la perte de densité minérale osseuse au niveau de la colonne vertébrale. Alors que, de tels programmes n'ont aucun effet sur l'avant-bras ou la masse osseuse fémorale (Bérard, Bravo et Gauthier, 1997).

Ces résultats mettent en évidence la réversibilité possible de l'ostéoporose suite à un programme d'entraînement physique d'un an mené sur les femmes âgées. De plus, l'influence de l'entraînement au niveau du col fémoral était plus marquée s'il était lourd-léger à vitesse rapide que s'il était en hypertrophie à vitesse spontanée, ce qui renforce l'hypothèse principale de notre étude.

4.6 Limites de l'étude

Plusieurs limites sont présentées dans notre étude :

- La taille de l'échantillon était limitée en nombre puisque l'étude a été effectuée durant la période de la pandémie de covid-19 et les femmes âgées constituaient les personnes les plus à risques. De même, la plupart des femmes n'était pas conforme aux critères d'inclusion lors du recrutement au début de l'étude.
- L'étude comprend uniquement des femmes âgées de 60 à 70 ans qui sont les plus susceptibles à la survenue de l'ostéoporose. Cependant, il y a un manque de l'effet du sexe sur les résultats obtenus de l'influence de l'entraînement physique et on ne peut pas déduire une conclusion générale pour toute la population âgée.
- L'utilisation de la méthode DEXA n'étudie pas toutes les variations et les adaptations osseuses subies par la pratique d'une activité physique ainsi que les changements dans la structure des tendons qui pourraient survenir. Il serait intéressant d'utiliser d'autres méthodes, notamment l'IRM ou l'échographie, qui nous donnent des informations supplémentaires sur l'amélioration des propriétés de l'os et de la composition corporelle, mais cela nécessite une aide financière du fait que ces techniques sont très coûteuses.

- Il y a un manque de mesure des déterminants biologiques des paramètres osseux (hormonaux et endocriniens) et de l'apport nutritif des femmes ce qui pourrait expliquer, là encore, par les coûts et les contraintes de telles mesures.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A notre connaissance, c'est l'une des rares études à comparer les effets de deux modalités d'entraînement en musculation (hypertrophie vs. lourd-léger) sur la DMO et les propriétés osseuses chez les femmes âgées saines. De plus, c'est la première étude ayant démontré une augmentation de la DMO au niveau de la hanche totale et du col fémoral après un entraînement de résistance en contraste de charge (lourd-léger).

Les deux modalités d'entraînement de musculation (lourd-léger et hypertrophie) sont efficaces pour l'amélioration des mesures anthropométriques, de la composition corporelle, du score aux questionnaires SF-12 et GPAQ et pour l'augmentation de la force maximale et des paramètres osseux. Cependant, L'entraînement en lourd-léger est plus efficace pour l'amélioration de la détente verticale, de la DMO HT et de la DMO CF et présente une tendance à être moins prédisposé à la fracture que le groupe hypertrophie à vitesse spontanée. Par contre, l'entraînement en hypertrophie est plus intéressant pour l'amélioration de la qualité de vie. Les deux modalités d'entraînement n'ont pas induit de changements significatifs au niveau de PSQI.

Dans un premier temps, il serait intéressant de reprendre l'étude à nouveau en utilisant un échantillon d'hommes âgés sains afin de comparer la réponse osseuse dans les deux sexes en réponse au même protocole d'entraînement.

Dans un deuxième temps, il serait cliniquement important d'explorer les effets d'une telle intervention sur une population physiquement plus altérée (sujets sarcopéniques). Il faudrait aussi ajouter d'autres évaluations et questionnaires qui permettraient d'explorer la variation des déterminants liés potentiellement aux changements osseux rencontrés. Parmi ces déterminants, on peut citer :

- Le profil lipidique et la régulation du glucose
- Le taux de GH, d'IGF-I et de testostérone
- L'évaluation des taux de cytokines inflammatoires et des marqueurs biologiques
- L'apport en protéine et la consommation de calcium
- Le taux plasmatique en vitamine D
- La consommation d'alcool et du tabac
- Les tests liés à la performance des activités quotidiennes et au risque de chute (test SPPB, questionnaire SARC-F)

Dans un troisième temps, il serait également important d'étudier les effets du désentraînement sur ces paramètres dans la même population après l'arrêt du protocole, afin de vérifier si les gains obtenus suite à l'entraînement persistent après l'interruption de l'entraînement physique.

Dans un dernier temps, il serait raisonnable de comparer l'efficacité des différents types d'entraînement en force sur la DMO de la hanche chez les femmes âgées saines en rédigeant une méta-analyse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdul Al, O., Zakhem, E., Zunquin, G., & El Hage, R. (2021). Relationships Between Relative Skeletal Muscle Mass Index and Composite Indices of Femoral Neck in a Group of Lebanese Postmenopausal Women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(4), 663–665.
- 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.
- Ahedi, H., Aitken, D., Scott, D., Blizzard, L., Cicuttini, F., & Jones, G. (2014). The association between hip muscle cross-sectional area, muscle strength, and bone mineral density. *Calcified tissue international*, 95(1), 64-72.
- Alexy, U., Remer, T., Manz, F., Neu, C. M., & Schoenau, E. (2005). Long-term protein intake and dietary potential renal acid load are associated with bone modeling and remodeling at the proximal radius in healthy children. *The American journal of clinical nutrition*, 82(5), 1107–1114.
- Alwan, A., Al Rassy, N., Berro, A. J., Rizkallah, M., Matta, J., Frenn, F., Bachour, F., Sebaaly, A., Maalouf, G., Zouhal, H., & El Hage, R. (2018). Vitamin D and Trabecular Bone Score in a Group of Young Lebanese Adults. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 21(3), 453–458.
- American College of Sports Medicine, Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(7), 1510–1530.
- Aquino, M., DiMenna, F. J., Petrizzo, J., Otto, R. M., & Wygand, J. (2020). Power training improves bone mineral density and fall risk for a postmenopausal

- woman with a history of osteoporosis and increased risk of falling: A case report. *Journal of bodywork and movement therapies*, 24(3), 44–49.
- Ashe, M. C., Liu-Ambrose, T. Y., Cooper, D. M., Khan, K. M., & McKay, H. A. (2008). Muscle power is related to tibial bone strength in older women. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 19(12), 1725–1732.
- Astrand P. O. (1976). Quantification of exercise capability and evaluation of physical capacity in man. *Progress in cardiovascular diseases*, 19(1), 51–67.
- Ayoub, M. L., Maalouf, G., Bachour, F., Barakat, A., Cortet, B., Legroux-Gérot, I., Zunquin, G., Theunynck, D., Nehme, A., & El Hage, R. (2014). DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 100(8), 855–858.
- Bassatne, A., Harb, H., Jaafar, B., Romanos, J., Ammar, W., & El-Hajj Fuleihan, G. (2020). Disease burden of osteoporosis and other non-communicable diseases in Lebanon. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 31(9), 1769–1777.
- Bassey, E. J., & Ramsdale, S. J. (1995). Weight-bearing exercise and ground reaction forces: a 12-month randomized controlled trial of effects on bone mineral density in healthy postmenopausal women. *Bone*, 16(4), 469–476.
- Bayramoğlu, M., Sözüy, S., Karataş, M., & Kiliç, S. (2005). Relationships between muscle strength and bone mineral density of three body regions in sedentary postmenopausal women. *Rheumatology international*, 25(7), 513–517.
- Bean, J. F., Leveille, S. G., Kiely, D. K., Bandinelli, S., Guralnik, J. M., & Ferrucci, L. (2003). A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more?. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 58(8), 728–733.

- Bean, J. F., Vora, A., & Frontera, W. R. (2004). Benefits of exercise for community-dwelling older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(7 Suppl 3), S31–S44.
- Beck, T. J., Ruff, C. B., Warden, K. E., Scott, W. W., Jr, & Rao, G. U. (1990). Predicting femoral neck strength from bone mineral data. A structural approach. *Investigative radiology*, 25(1), 6–18.
- Beck, B. R., & Norling, T. L. (2010). The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 89(12), 997–1009.
- Belavý, D. L., Armbrrecht, G., Blenk, T., Bock, O., Börst, H., Kocakaya, E., Luhn, F., Rantalainen, T., Rawer, R., Tomasius, F., Willnecker, J., & Felsenberg, D. (2016). Greater association of peak neuromuscular performance with cortical bone geometry, bone mass and bone strength than bone density: A study in 417 older women. *Bone*, 83, 119–126.
- Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2011). Dose-response effect of 40 weeks of resistance training on bone mineral density in older adults. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 22(1), 179–186.
- Benedetti, M. G., Furlini, G., Zati, A., & Letizia Mauro, G. (2018). The Effectiveness of Physical Exercise on Bone Density in Osteoporotic Patients. *BioMed research international*, 2018, 4840531.
- Bérard, A., Bravo, G., & Gauthier, P. (1997). Meta-analysis of the effectiveness of physical activity for the prevention of bone loss in postmenopausal women. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 7(4), 331–337.
- Bienz, M., & Saad, F. (2015). Androgen-deprivation therapy and bone loss in prostate cancer patients: a clinical review. *BoneKEy reports*, 4, 716.

- Bischoff-Ferrari H. A. (2012). Relevance of vitamin D in muscle health. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*, 13(1), 71–77.
- Blain, H., Vuillemin, A., Teissier, A., Hanesse, B., Guillemin, F., & Jeandel, C. (2001). Influence of muscle strength and body weight and composition on regional bone mineral density in healthy women aged 60 years and over. *Gerontology*, 47(4), 207–212.
- Blake, G. M., & Fogelman, I. (2007). Role of dual-energy X-ray absorptiometry in the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 10(1), 102–110.
- Blake, G. M., & Fogelman, I. (2007). The role of DXA bone density scans in the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Postgraduate medical journal*, 83(982), 509–517.
- Blanchet, C., Chaire, L., Chagnon, A. & Thibault, G. (2008). *Activité physique et santé osseuse*. Ministère de l'éducation, du loisir et du sport. Kino-Québec.
- Bocalini, D. S., Serra, A. J., dos Santos, L., Murad, N., & Levy, R. F. (2009). Strength training preserves the bone mineral density of postmenopausal women without hormone replacement therapy. *Journal of aging and health*, 21(3), 519–527.
- Bonewald L. (2006). Osteocytes as multifunctional cells. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 6(4), 331–333.
- 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. (2011). Protein intake and bone health. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 81(2-3), 134–142.

- Breen, M. E., Laing, E. M., Hall, D. B., Hausman, D. B., Taylor, R. G., Isales, C. M., Ding, K. H., Pollock, N. K., Hamrick, M. W., Baile, C. A., & Lewis, R. D. (2011). 25-hydroxyvitamin D, insulin-like growth factor-I, and bone mineral accrual during growth. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, *96*(1), E89–E98.
- Buchner D. M. (1997). Preserving mobility in older adults. *The Western journal of medicine*, *167*(4), 258–264.
- Buckner R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, *44*(1), 195–208.
- Burr, D. B., Robling, A. G., & Turner, C. H. (2002). Effects of biomechanical stress on bones in animals. *Bone*, *30*(5), 781–786.
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry research*, *28*(2), 193–213.
- Caruso, J.F., Shefflette, A.C.S., Colborn, C.E., & Soltysiak, S.R. (2021). Exercise, Strains and Their Impact on Bone Mineral Content and Density Losses. *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, *3*(1), 9–16.
- Cashman K. D. (2007). Diet, nutrition, and bone health. *The Journal of nutrition*, *137*(11 Suppl), 2507S–2512S.
- Cauley J. A. (2013). Public health impact of osteoporosis. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *68*(10), 1243–1251.
- Chakhtoura, M., Rahme, M., Chamoun, N., & El-Hajj Fuleihan, G. (2018). Vitamin D in the Middle East and North Africa. *Bone reports*, *8*, 135–146.
- Chalhoub, D., Boudreau, R., Greenspan, S., Newman, A. B., Zmuda, J., Frank-Wilson, A. W., Nagaraj, N., Hoffman, A. R., Lane, N. E., Stefanick, M. L., Barrett-Connor, E., Dam, T., Cawthon, P. M., Orwoll, E. S., Cauley, J. A., & Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Study Research Group (2018).

- Associations Between Lean Mass, Muscle Strength and Power, and Skeletal Size, Density and Strength in Older Men. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 33(9), 1612–1621.
- Chuin, A., Labonté, M., Tessier, D., Khalil, A., Bobeuf, F., Doyon, C. Y., Rieth, N., & Dionne, I. J. (2009). Effect of antioxidants combined to resistance training on BMD in elderly women: a pilot study. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 20(7), 1253–1258.
- Cleland, C. L., Hunter, R. F., Kee, F., Cupples, M. E., Sallis, J. F., & Tully, M. A. (2014). Validity of the global physical activity questionnaire (GPAQ) in assessing levels and change in moderate-vigorous physical activity and sedentary behaviour. *BMC public health*, 14, 1255.
- CNEG, (2000) le vieillissement humain, in corpus de geriatrie, 2m2, editor, p. 185.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge.
- Compston, J. E. (2001). Sex steroids and bone. *Physiological reviews*, 81(1), 419-447.
- Cooper, C., Cole, Z. A., Holroyd, C. R., Earl, S. C., Harvey, N. C., Dennison, E. M., Melton, L. J., Cummings, S. R., Kanis, J. A., & IOF CSA Working Group on Fracture Epidemiology (2011). Secular trends in the incidence of hip and other 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*, 22(5), 1277–1288.
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., Martin, F. C., Michel, J. P., Rolland, Y., Schneider, S. M., Topinková, E., Vandewoude, M., Zamboni, M., & European Working Group on Sarcopenia in Older People (2010). Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age and ageing*, 39(4), 412–423.

- Cullen, D. M., Smith, R. T., & Akhter, M. P. (2001). Bone-loading response varies with strain magnitude and cycle number. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *91*(5), 1971–1976.
- Daly, R. M., Dunstan, D. W., Owen, N., Jolley, D., Shaw, J. E., & Zimmet, P. Z. (2005). Does high-intensity resistance training maintain bone mass during moderate weight loss in older overweight adults with type 2 diabetes?. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, *16*(12), 1703–1712.
- de Matos, O., Lopes da Silva, D. J., Martinez de Oliveira, J., & Castelo-Branco, C. (2009). Effect of specific exercise training on bone mineral density in women with postmenopausal osteopenia or osteoporosis. *Gynecological endocrinology : the official journal of the International Society of Gynecological Endocrinology*, *25*(9), 616–620.
- Devine, A., Dick, I. M., Dhaliwal, S. S., Naheed, R., Beilby, J., & Prince, R. L. (2005). Prediction of incident osteoporotic fractures in elderly women using the free estradiol index. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, *16*(2), 216–221.
- Dhanwal, D. K., Dennison, E. M., Harvey, N. C., & Cooper, C. (2011). Epidemiology of hip fracture: Worldwide geographic variation. *Indian journal of orthopaedics*, *45*(1), 15–22.
- Dixon, W. G., Lunt, M., Pye, S. R., Reeve, J., Felsenberg, D., Silman, A. J., O'Neill, T. W., & European Prospective Osteoporosis Study Group (2005). Low grip strength is associated with bone mineral density and vertebral fracture in women. *Rheumatology (Oxford, England)*, *44*(5), 642–646.
- Ducher, G., Daly, R. M., & Bass, S. L. (2009). Effects of repetitive loading on bone mass and geometry in young male tennis players: a quantitative study using MRI. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, *24*(10), 1686–1692.

- Duncan, R. L., Hruska, K. A., & Misler, S. (1992). Parathyroid hormone activation of stretch-activated cation channels in osteosarcoma cells (UMR-106.01). *FEBS letters*, 307(2), 219–223.
- Duncan, E. L., & Brown, M. A. (2010). Clinical review 2: Genetic determinants of bone density and fracture risk--state of the art and future directions. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 95(6), 2576–2587.
- Edwards, M. H., Gregson, C. L., Patel, H. P., Jameson, K. A., Harvey, N. C., Sayer, A. A., Dennison, E. M., & Cooper, C. (2013). Muscle size, strength, and physical performance and their associations with bone structure in the Hertfordshire Cohort Study. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 28(11), 2295–2304.
- Eisman, J. A. (1999). Genetics of osteoporosis. *Endocrine reviews*, 20(6), 788-804.
- 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). Apport calcique journalier et indice de masse corporelle chez des adolescents libanais [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.
- Elhakeem, A., Hartley, A., Luo, Y., Goertzen, A. L., Hannam, K., Clark, E. M., Leslie, W. D., & Tobias, J. H. (2019). Lean mass and lower limb muscle function in relation to hip strength, geometry and fracture risk indices in community-dwelling older women. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 30(1), 211–220.
- El Khoury, C., Toumi, H., Lespessailles, E., Pinti, A., El Khoury, G., Maalouf, G., Zakhem, E., Ayoub, M. L., Watelain, E., & El Hage, R. (2017). Decreased Composite Indices of Femoral Neck Strength in Young Obese Men. *Journal of*

- clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 20(2), 268–270.
- Engelke, K., & Glüer, C. C. (2006). Quality and performance measures in bone densitometry: part 1: errors and diagnosis. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 17(9), 1283–1292.
- Ensrud, K. E., Ewing, S. K., Stone, K. L., Cauley, J. A., Bowman, P. J., Cummings, S. R., & Study of Osteoporotic Fractures Research Group (2003). Intentional and unintentional weight loss increase bone loss and hip fracture risk in older women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(12), 1740–1747.
- Eriksen E. F. (1986). Normal and pathological remodeling of human trabecular bone: three dimensional reconstruction of the remodeling sequence in normals and in metabolic bone disease. *Endocrine reviews*, 7(4), 379–408.
- Evans, A. L., Paggiosi, M. A., Eastell, R., & Walsh, J. S. (2015). Bone density, microstructure and strength in obese and normal weight men and women in younger and older adulthood. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 30(5), 920–928.
- 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.
- Ferrari, S., Rizzoli, R., Slosman, D., & Bonjour, J. P. (1998). Familial resemblance for bone mineral mass is expressed before puberty. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 83(2), 358–361.
- Fitzpatrick L. A. (2002). Secondary causes of osteoporosis. *Mayo Clinic proceedings*, 77(5), 453–468.
- Fleishman, E. A., Quaintance, M. K., & Broedling, L. A. (1984). *Taxonomies of human performance: The description of human tasks*. Academic Press.

- Fontana, A., & Delmas, P. D. (2001). L'ostéoporose : épidémiologie, clinique et approches thérapeutiques. *Médecine/Sciences*, 17(12), 1297–1305.
- Frenkel, B., Hong, A., Baniwal, S. K., Coetzee, G. A., Ohlsson, C., Khalid, O., & Gabet, Y. (2010). Regulation of adult bone turnover by sex steroids. *Journal of cellular physiology*, 224(2), 305–310.
- García-Sánchez, A., Gonzalez-Calvin, J. L., Díez-Ruiz, A., Casals, J. L., Gallego-Rojo, F., & Salvatierra, D. (1995). Effect of acute alcohol ingestion on mineral metabolism and osteoblastic function. *Alcohol and alcoholism (Oxford, Oxfordshire)*, 30(4), 449–453.
- Garnero, P., Sornay-Rendu, E., & Delmas, P. D. (2000). Low serum IGF-1 and occurrence of osteoporotic fractures in postmenopausal women. *Lancet (London, England)*, 355(9207), 898–899.
- Genant, H. K., Cooper, C., Poor, G., Reid, I., Ehrlich, G., Kanis, J., Nordin, B. E., Barrett-Connor, E., Black, D., Bonjour, J. P., Dawson-Hughes, B., Delmas, P. D., Dequeker, J., Ragi Eis, S., Gennari, C., Johnell, O., Johnston, C. C., Jr, Lau, E. M., Liberman, U. A., Lindsay, R., ... Khaltayev, N. (1999). Interim report and recommendations of the World Health Organization Task-Force for Osteoporosis. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 10(4), 259–264.
- Ghassan, M., Alexandre, N., Joseph, W., Fadi, H., Georges, F., Joseph, H., & Marie Hélène, G. Y. (2004). Osteoporosis a disease for all; in Lebanon. *Clinical calcium*, 14(9), 116–122.
- Girgis, C. M., Clifton-Bligh, R. J., Turner, N., Lau, S. L., & Gunton, J. E. (2014). Effects of vitamin D in skeletal muscle: falls, strength, athletic performance and insulin sensitivity. *Clinical endocrinology*, 80(2), 169–181.
- Griffith, J. F., & Genant, H. K. (2008). Bone mass and architecture determination: state of the art. *Best practice & research. Clinical endocrinology & metabolism*, 22(5), 737–764.

- Guralnik, J. M., Ferrucci, L., Simonsick, E. M., Salive, M. E., & Wallace, R. B. (1995). Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *The New England journal of medicine*, 332(9), 556–561.
- Hamaguchi, K., Kurihara, T., Fujimoto, M., Iemitsu, M., Sato, K., Hamaoka, T., & Sanada, K. (2017). The effects of low-repetition and light-load power training on bone mineral density in postmenopausal women with sarcopenia: a pilot study. *BMC geriatrics*, 17(1), 102.
- Hannan, M. T., Felson, D. T., Dawson-Hughes, B., Tucker, K. L., Cupples, L. A., Wilson, P. W., & Kiel, D. P. (2000). Risk factors for longitudinal bone loss in elderly men and women: the Framingham Osteoporosis Study. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 15(4), 710–720.
- Hazell, T., Kenno, K., & Jakobi, J. (2007). Functional benefit of power training for older adults. *Journal of aging and physical activity*, 15(3), 349–359.
- Henwood, T. R., Riek, S., & Taaffe, D. R. (2008). Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 63(1), 83–91.
- Hollenberg, M., Ngo, L. H., Turner, D., & Tager, I. B. (1998). Treadmill exercise testing in an epidemiologic study of elderly subjects. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 53(4), B259–B267.
- Holroyd, C., Cooper, C., & Dennison, E. (2008). Epidemiology of osteoporosis. *Best practice & research. Clinical endocrinology & metabolism*, 22(5), 671–685.
- Ilich, J. Z., & Kerstetter, J. E. (2000). Nutrition in bone health revisited: a story beyond calcium. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(6), 715-737.
- Iwaniec, U. T., & Turner, R. T. (2016). Influence of body weight on bone mass, architecture and turnover. *The Journal of endocrinology*, 230(3), R115–R130.

- Janssen, H. C., Samson, M. M., & Verhaar, H. J. (2002). Vitamin D deficiency, muscle function, and falls in elderly people. *The American journal of clinical nutrition*, 75(4), 611–615.
- Johnell, O., & Kanis, J. A. (2004). An estimate of the worldwide prevalence, mortality and disability associated with 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*, 15(11), 897–902.
- Johnell, O., & Kanis, J. (2005). Epidemiology of 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*, 16 Suppl 2, S3–S7.
- Kanis J. A. (1994). Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. WHO Study Group. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 4(6), 368–381.
- Kanis, J. A., Johnell, O., De Laet, C., Johansson, H., Oden, A., Delmas, P., Eisman, J., Fujiwara, S., Garnero, P., Kroger, H., McCloskey, E. V., Mellstrom, D., Melton, L. J., Pols, H., Reeve, J., Silman, A., & Tenenhouse, A. (2004). A meta-analysis of previous fracture and subsequent fracture risk. *Bone*, 35(2), 375–382.
- Kanis, J. A., Johansson, H., Oden, A., Johnell, O., de Laet, C., Melton III, L. J., Tenenhouse, A., Reeve, J., Silman, A. J., Pols, H. A., Eisman, J. A., McCloskey, E. V., & Mellstrom, D. (2004). A meta-analysis of prior corticosteroid use and fracture risk. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 19(6), 893–899.
- Kanis, J. A., Johansson, H., Johnell, O., Oden, A., De Laet, C., Eisman, J. A., Pols, H., & Tenenhouse, A. (2005). Alcohol intake as a risk factor for fracture. *Osteoporosis international : a journal established as result of*

cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 16(7), 737–742.

Kanis, J. A., Burlet, N., Cooper, C., Delmas, P. D., Reginster, J. Y., Borgstrom, F., Rizzoli, R., & European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO) (2008). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 19(4), 399–428.*

Kapuš, O., Gába, A., & Lehnert, M. (2020). Relationships between bone mineral density, body composition, and isokinetic strength in postmenopausal women. *Bone reports, 12, 100255.*

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.*

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

Kenny, G. P., Yardley, J. E., Martineau, L., & Jay, O. (2008). Physical work capacity in older adults: implications for the aging worker. *American journal of industrial medicine, 51(8), 610–625.*

Kerr, D., Ackland, T., Maslen, B., Morton, A., & Prince, R. (2001). Resistance training over 2 years increases bone mass in calcium-replete postmenopausal women. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research, 16(1), 175–181.*

Khosla, S., & Riggs, B. L. (2005). Pathophysiology of age-related bone loss and osteoporosis. *Endocrinology and metabolism clinics of North America, 34(4), 1015–xi.*

- 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.
- Korpelainen, R., Keinänen-Kiukaanniemi, S., Heikkinen, J., Väänänen, K., & Korpelainen, J. (2006). Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: a population-based randomized controlled 30-month intervention. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, *17*(1), 109–118.
- Krall, E. A., & Dawson-Hughes, B. (1993). Heritable and life-style determinants of bone mineral density. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, *8*(1), 1–9.
- Li, Y. J., Batra, N. N., You, L., Meier, S. C., Coe, I. A., Yellowley, C. E., & Jacobs, C. R. (2004). Oscillatory fluid flow affects human marrow stromal cell proliferation and differentiation. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, *22*(6), 1283–1289.
- Lips, P., Duong, T., Oleksik, A., Black, D., Cummings, S., Cox, D., & Nickelsen, T. (2001). A global study of vitamin D status and parathyroid function in postmenopausal women with osteoporosis: baseline data from the multiple outcomes of raloxifene evaluation clinical trial. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, *86*(3), 1212–1221.
- Locatelli, V., & Bianchi, V. E. (2014). Effect of GH/IGF-1 on Bone Metabolism and Osteoporosis. *International journal of endocrinology*, *2014*, 235060.

- Lombardi, G., Sanchis-Gomar, F., Perego, S., Sansoni, V., & Banfi, G. (2016). Implications of exercise-induced adipo-myokines in bone metabolism. *Endocrine*, *54*(2), 284–305.
- Maalouf, G., Bachour, F., Hlais, S., Maalouf, N. M., Yazbeck, P., Yaghi, Y., Yaghi, K., El Hage, R., & Issa, M. (2013). Epidemiology of hip fractures in Lebanon: a nationwide survey. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, *99*(6), 675–680.
- 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.
- Manolagas, S. C., & Jilka, R. L. (1995). Bone marrow, cytokines, and bone remodeling. Emerging insights into the pathophysiology of osteoporosis. *The New England journal of medicine*, *332*(5), 305–311.
- Manolagas, S. C., Kousteni, S., & Jilka, R. L. (2002). Sex steroids and bone. *Recent progress in hormone research*, *57*, 385–409.
- Marin, R. V., Pedrosa, M., Moreira-Pfrimer, L., Matsudo, S., & Lazaretti-Castro, M. (2010). Association between lean mass and handgrip strength with bone mineral density in physically active postmenopausal women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, *13*(1), 96–101.
- Marques, E. A., Wanderley, F., Machado, L., Sousa, F., Viana, J. L., Moreira-Gonçalves, D., Moreira, P., Mota, J., & Carvalho, J. (2011). Effects of resistance and aerobic exercise on physical function, bone mineral density, OPG and RANKL in older women. *Experimental gerontology*, *46*(7), 524–532.
- Martin, P. E., Rothstein, D. E., & Larish, D. D. (1992). Effects of age and physical activity status on the speed-aerobic demand relationship of walking. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *73*(1), 200–206.

- Martyn-St James, M., & Carroll, S. (2008). Meta-analysis of walking for preservation of bone mineral density in postmenopausal women. *Bone*, *43*(3), 521–531.
- Martyn-St James, M., & Carroll, S. (2009). A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *British journal of sports medicine*, *43*(12), 898–908.
- McLean, R. R., Samelson, E. J., Lorbergs, A. L., Broe, K. E., Hannan, M. T., Boyd, S. K., Bouxsein, M. L., & Kiel, D. P. (2021). Higher Hand Grip Strength Is Associated With Greater Radius Bone Size and Strength in Older Men and Women: The Framingham Osteoporosis Study. *JBMR plus*, *5*(5), e10485.
- Metter, E. J., Conwit, R., Tobin, J., & Fozard, J. L. (1997). Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *52*(5), B267–B276.
- Michel, J. P., Lang, P. O., & Cruz-Jentoft, A. J. (2009). Sarcopénie: nouveau thème d'actualité en gériatrie [Sarcopenia: a new geriatric hot topic]. *Revue médicale suisse*, *5*(224), 2200–2204.
- Milaneschi, Y., Tanaka, T., & Ferrucci, L. (2010). Nutritional determinants of mobility. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, *13*(6), 625–629.
- Morley J. E. (2001). Decreased food intake with aging. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *56 Spec No 2*, 81–88.
- Mosti, M. P., Kaehler, N., Stunes, A. K., Hoff, J., & Syversen, U. (2013). Maximal strength training in postmenopausal women with osteoporosis or osteopenia. *Journal of strength and conditioning research*, *27*(10), 2879–2886.
- Nasr, R., Al Rassy, N., Watelain, E., Ishac, S., Abdul Al, O., & El Hage, R. (2019). Influence of three different types of physical training programs on bone mineral density in a group of elderly subjects. *Science & Sports*, *34*(3), 186–189.

- Nasr, R., Al Rassy, N., Watelain, E., Ishac, S., Abdul Al, O., & El Hage, R. (2019). Muscular maximal strength indices and bone variables in a group of elderly men. *Science & Sports*, *34*(1), 56–58.
- Nasr, R., Al Rassy, N., Watelain, E., Matta, J., Frenn, F., Rizkallah, M., Maalouf, G., El Khoury, C., Berro, A. J., & El Hage, R. (2020). Muscular Maximal Strength Indices and Bone Variables in a Group of Elderly Women. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, *23*(3), 465–471.
- Nelson, M. E., Fiatarone, M. A., Morganti, C. M., Trice, I., Greenberg, R. A., & Evans, W. J. (1994). Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *JAMA*, *272*(24), 1909–1914.
- Newstead, A., Smith, K. I., Bruder, J., & Keller, C. (2004). The effect of a jumping exercise intervention on bone mineral density in postmenopausal women. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, *27*(2), 47.
- Njeh, C. F., Fuerst, T., Hans, D., Blake, G. M., & Genant, H. K. (1999). Radiation exposure in bone mineral density assessment. *Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine*, *50*(1), 215–236.
- Nikander, R., Sievänen, H., Heinonen, A., Daly, R. M., Uusi-Rasi, K., & Kannus, P. (2010). Targeted exercise against osteoporosis: A systematic review and meta-analysis for optimising bone strength throughout life. *BMC medicine*, *8*, 47.
- Nitz, J. C., & Choy, N. L. (2004). The efficacy of a specific balance-strategy training programme for preventing falls among older people: a pilot randomised controlled trial. *Age and ageing*, *33*(1), 52–58.
- Norman, K., Stobäus, N., Gonzalez, M. C., Schulzke, J. D., & Pirlich, M. (2011). Hand grip strength: outcome predictor and marker of nutritional status. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, *30*(2), 135–142.

- Orcel, P., & Funck-Brentano, T. (2011). Medical management following an osteoporotic fracture. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 97(8), 860–869.
- Overend, T. J., Cunningham, D. A., Paterson, D. H., & Lefcoe, M. S. (1992). Thigh composition in young and elderly men determined by computed tomography. *Clinical physiology (Oxford, England)*, 12(6), 629–640.
- Pasco, J. A., Holloway, K. L., Brennan-Olsen, S. L., Moloney, D. J., & Kotowicz, M. A. (2015). Muscle strength and areal bone mineral density at the hip in women: a cross-sectional study. *BMC musculoskeletal disorders*, 16, 124.
- Pearson, O. M., & Lieberman, D. E. (2004). The aging of Wolff's "law": ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. *American journal of physical anthropology, Suppl 39*, 63–99.
- Petrella, J. K., Miller, L. S., & Cress, M. E. (2004). Leg extensor power, cognition, and functional performance in independent and marginally dependent older adults. *Age and ageing*, 33(4), 342–348.
- Pisani, P., Renna, M. D., Conversano, F., Casciaro, E., Muratore, M., Quarta, E., Paola, M. D., & Casciaro, S. (2013). Screening and early diagnosis of osteoporosis through X-ray and ultrasound based techniques. *World journal of radiology*, 5(11), 398–410.
- Pruitt, L. A., Taaffe, D. R., & Marcus, R. (1995). Effects of a one-year high-intensity versus low-intensity resistance training program on bone mineral density in older women. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 10(11), 1788–1795.
- Ramírez-Campillo, R., Castillo, A., de la Fuente, C. I., Campos-Jara, C., Andrade, D. C., Álvarez, C., Martínez, C., Castro-Sepúlveda, M., Pereira, A., Marques, M. C., & Izquierdo, M. (2014). High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Experimental gerontology*, 58, 51–57.

- Reid I. R. (2010). Fat and bone. *Archives of biochemistry and biophysics*, 503(1), 20–27.
- Reid, I. R. (2013). Relationships between body fat and bone mass. In *Nutritional Influences on Bone Health* (pp. 83-92). Springer, London.
- Reid, I. R., Bristow, S. M., & Bolland, M. J. (2015). Calcium supplements: benefits and risks. *Journal of internal medicine*, 278(4), 354–368.
- Remer, T., Manz, F., Alexy, U., Schoenau, E., Wudy, S. A., & Shi, L. (2011). Long-term high urinary potential renal acid load and low nitrogen excretion predict reduced diaphyseal bone mass and bone size in children. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 96(9), 2861–2868.
- Rhodes, E. C., Martin, A. D., Taunton, J. E., Donnelly, M., Warren, J., & Elliot, J. (2000). Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *British journal of sports medicine*, 34(1), 18–22.
- Riggs, B. L., Khosla, S., & Melton, L. J., 3rd (1998). A unitary model for involutional osteoporosis: estrogen deficiency causes both type I and type II osteoporosis in postmenopausal women and contributes to bone loss in aging men. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 13(5), 763–773.
- Rizzoli, R., Boonen, S., Brandi, M. L., Burlet, N., Delmas, P., & Reginster, J. Y. (2008). The role of calcium and vitamin D in the management of osteoporosis. *Bone*, 42(2), 246–249.
- 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., Castillo, A. B., & Turner, C. H. (2006). Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling. *Annual review of biomedical engineering*, 8, 455–498.

- Ruan, X. Y., Jin, F. Y., Liu, Y. L., Peng, Z. L., & Sun, Y. G. (2008). Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *Chinese medical journal*, *121*(13), 1155–1158.
- Rubin, J., Fan, X., Biskobing, D. M., Taylor, W. R., & Rubin, C. T. (1999). Osteoclastogenesis is repressed by mechanical strain in an in vitro model. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, *17*(5), 639–645.
- Rubin, C., Recker, R., Cullen, D., Ryaby, J., McCabe, J., & McLeod, K. (2004). Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, *19*(3), 343–351.
- Rubin, C., Rubin, J., & Judex, S. (2008). Exercise and the prevention of osteoporosis. In C. J. Rosen (Ed.), *Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism* (7th ed.). Washington: American Society for Bone Mineral Research.
- Salamoun, M. M., Kizirian, A. S., Tannous, R. I., Nabulsi, M. M., Choucair, M. K., Deeb, M. E., & El-Hajj Fuleihan, G. A. (2005). Low calcium and vitamin D intake in healthy children and adolescents and their correlates. *European journal of clinical nutrition*, *59*(2), 177–184.
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of experimental psychology. General*, *132*(4), 566–594.
- Santin-Medeiros, F., Rey-López, J. P., Santos-Lozano, A., Cristi-Montero, C. S., & Garatachea Vallejo, N. (2015). Effects of Eight Months of Whole-Body Vibration Training on the Muscle Mass and Functional Capacity of Elderly Women. *Journal of strength and conditioning research*, *29*(7), 1863–1869.
- Sarkisian, C. A., Prohaska, T. R., Davis, C., & Weiner, B. (2007). Pilot test of an attribution retraining intervention to raise walking levels in sedentary older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, *55*(11), 1842–1846.

- Sayer, A. A., Syddall, H. E., Gilbody, H. J., Dennison, E. M., & Cooper, C. (2004). Does sarcopenia originate in early life? Findings from the Hertfordshire cohort study. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 59(9), M930–M934.
- Sayers, S. P., & Gibson, K. (2010). A comparison of high-speed power training and traditional slow-speed resistance training in older men and women. *Journal of strength and conditioning research*, 24(12), 3369–3380.
- Schretlen, D., Pearlson, G. D., Anthony, J. C., Aylward, E. H., Augustine, A. M., Davis, A., & Barta, P. (2000). Elucidating the contributions of processing speed, executive ability, and frontal lobe volume to normal age-related differences in fluid intelligence. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 6(1), 52–61.
- Schwarz, P., Jørgensen, N., Nielsen, B., Laursen, A. S., Linneberg, A., & Aadahl, M. (2014). Muscle strength, power and cardiorespiratory fitness are associated with bone mineral density in men aged 31-60 years. *Scandinavian journal of public health*, 42(8), 773–779.
- Shaw, J. M., & Snow, C. M. (1998). Weighted vest exercise improves indices of fall risk in older women. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 53(1), M53–M58.
- Shephard R. J. (2009). Maximal oxygen intake and independence in old age. *British journal of sports medicine*, 43(5), 342–346.
- Sibai, A. M., Sen, K., Baydoun, M., & Saxena, P. (2004). Population ageing in Lebanon: current status, future prospects and implications for policy. *Bulletin of the World Health Organization*, 82(3), 219–225.
- Singh, H., Kim, D., Bembien, M. G., & Bembien, D. A. (2017). Relationship between muscle performance and DXA-derived bone parameters in community-dwelling older adults. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 17(2), 50–58.

- Skelton, D. A., Greig, C. A., Davies, J. M., & Young, A. (1994). Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age and ageing*, 23(5), 371–377.
- Slatkovska, L., Alibhai, S. M., Beyene, J., Hu, H., Demaras, A., & Cheung, A. M. (2011). Effect of 12 months of whole-body vibration therapy on bone density and structure in postmenopausal women: a randomized trial. *Annals of internal medicine*, 155(10), 668–W205.
- Smith M. R. (2007). Obesity and sex steroids during gonadotropin-releasing hormone agonist treatment for prostate cancer. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research*, 13(1), 241–245.
- Snow, C. M., Shaw, J. M., Winters, K. M., & Witzke, K. A. (2000). Long-term exercise using weighted vests prevents hip bone loss in postmenopausal women. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 55(9), M489–M491.
- Song, S., & Geyer, H. (2018). Predictive neuromechanical simulations indicate why walking performance declines with ageing. *The Journal of physiology*, 596(7), 1199–1210.
- Stengel, S. V., Kemmler, W., Pintag, R., Beeskow, C., Weineck, J., Lauber, D., Kalender, W. A., & Engelke, K. (2005). Power training is more effective than strength training for maintaining bone mineral density in postmenopausal women. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 99(1), 181–188.
- Suominen H. (2006). Muscle training for bone strength. *Aging clinical and experimental research*, 18(2), 85–93.
- Tanaka, H., & Seals, D. R. (2003). Invited Review: Dynamic exercise performance in Masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 95(5), 2152–2162.

- Tinetti, M. E., Williams, T. F., & Mayewski, R. (1986). Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities. *The American journal of medicine*, 80(3), 429–434.
- Tissandier, O., Thomas, C., Bellamy, V., Piette, F., & Weill-Engerer, S. (2004). Quel sens pour l'exercice physique du vieillard? *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie*, 4(19), 25-28.
- Toba, Y., Takada, Y., Yamamura, J., Tanaka, M., Matsuoka, Y., Kawakami, H., Itabashi, A., Aoe, S., & Kumegawa, M. (2000). Milk basic protein: a novel protective function of milk against osteoporosis. *Bone*, 27(3), 403–408.
- Turner, C. H., Takano, Y., & Owan, I. (1995). Aging changes mechanical loading thresholds for bone formation in rats. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 10(10), 1544–1549.
- Turner C. H. (1998). Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. *Bone*, 23(5), 399–407.
- Vagetti, G. C., Barbosa Filho, V. C., Moreira, N. B., Oliveira, V. d., Mazzardo, O., & Campos, W. d. (2014). Association between physical activity and quality of life in the elderly: a systematic review, 2000-2012. *Revista brasileira de psiquiatria (Sao Paulo, Brazil : 1999)*, 36(1), 76–88.
- Vandervoort A. A. (2002). Aging of the human neuromuscular system. *Muscle & nerve*, 25(1), 17–25.
- Verschueren, S. M., Roelants, M., Delecluse, C., Swinnen, S., Vanderschueren, D., & Boonen, S. (2004). Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 19(3), 352–359.
- von Stengel, S., Kemmler, W., Kalender, W. A., Engelke, K., & Lauber, D. (2007). Differential effects of strength versus power training on bone mineral density in

- postmenopausal women: a 2-year longitudinal study. *British journal of sports medicine*, 41(10), 649–655.
- Von Stengel, S., Kemmler, W., Bebenek, M., Engelke, K., & Kalender, W. A. (2011). Effects of whole-body vibration training on different devices on bone mineral density. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(6), 1071–1079.
- Wade, S. W., Strader, C., Fitzpatrick, L. A., Anthony, M. S., & O'Malley, C. D. (2014). Estimating prevalence of osteoporosis: examples from industrialized countries. *Archives of osteoporosis*, 9, 182.
- Ware, J., Jr, Kosinski, M., & Keller, S. D. (1996). A 12-Item Short-Form Health Survey: construction of scales and preliminary tests of reliability and validity. *Medical care*, 34(3), 220–233.
- Weaver, C. M., Gordon, C. M., Janz, K. F., Kalkwarf, H. J., Lappe, J. M., Lewis, R., O'Karma, M., Wallace, T. C., & Zemel, B. S. (2016). The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 27(4), 1281–1386.
- Wilson, T. M., & Tanaka, H. (2000). Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 278(3), H829–H834.
- Zaki M. E. (2014). Effects of whole body vibration and resistance training on bone mineral density and anthropometry in obese postmenopausal women. *Journal of osteoporosis*, 2014, 702589.
- Zehnacker, C. H., & Bemis-Dougherty, A. (2007). Effect of weighted exercises on bone mineral density in post menopausal women. A systematic review. *Journal of geriatric physical therapy (2001)*, 30(2), 79–88.
- Zengin, A., Pye, S. R., Cook, M. J., Adams, J. E., Rawer, R., Wu, F., O'Neill, T. W., & Ward, K. A. (2017). Associations of muscle force, power, cross-sectional

muscle area and bone geometry in older UK men. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 8(4), 598–606.

Zhou, Z., Zheng, L., Wei, D., Ye, M., & Li, X. (2013). Muscular strength measurements indicate bone mineral density loss in postmenopausal women. *Clinical interventions in aging*, 8, 1451–1459.

Zhu, K., Briffa, K., Smith, A., Mountain, J., Briggs, A. M., Lye, S., Pennell, C., Straker, L., & Walsh, J. P. (2014). Gender differences in the relationships between lean body mass, fat mass and peak bone mass in young adults. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 25(5), 1563–1570.

ANNEXES

Annexe A

Index de Qualité de Sommeil de Pittsburgh (PSQI)

CENTRE DU SOMMEIL ET DE LA VIGILANCE HÔTEL-DIEU, PARIS



Index de Qualité du Sommeil de Pittsburgh (PSQI)

NOM : PRÉNOM :

Date de naissance :/...../..... Date de ce jour :/...../.....

Les questions suivantes ont trait à vos habitudes de sommeil pendant le dernier mois seulement. Vos réponses doivent indiquer ce qui correspond aux expériences que vous avez eues pendant la majorité des jours et des nuits au cours du dernier mois. Répondez à toutes les questions.

1/ Au cours du mois dernier, quand êtes-vous habituellement allé vous coucher le soir ?

↪ Heure habituelle du coucher :

2/ Au cours du mois dernier, combien vous a-t-il habituellement fallu de temps (en minutes) pour vous endormir chaque soir ?

↪ Nombre de minutes :

3/ Au cours du mois dernier, quand vous êtes-vous habituellement levé le matin ?

↪ Heure habituelle du lever :

4/ Au cours du mois dernier, combien d'heures de sommeil effectif avez-vous eu chaque nuit ? (Ce nombre peut être différent du nombre d'heures que vous avez passé au lit)

↪ Nombre d'heures de sommeil par nuit :

Pour chacune des questions suivantes, indiquez la meilleure réponse. Répondez à toutes les questions.

5/ Au cours du mois dernier, avec quelle fréquence avez-vous eu des troubles du sommeil car ...

	Pas au cours du dernier mois	Moins d'1 fois par semaine	1 ou 2 fois par semaine	3 ou 4 fois par semaine
a) vous n'avez pas pu vous endormir en moins de 30 mn				

CENTRE DU SOMMEIL ET DE LA VIGILANCE HÔTEL-DIEU, PARIS

b) vous vous êtes réveillé au milieu de la nuit ou précocement le matin				
c) vous avez dû vous lever pour aller aux toilettes				
d) vous n'avez pas pu respirer correctement				
e) vous avez toussé				
f) vous avez eu trop froid				
g) vous avez eu trop chaud				
h) vous avez eu de mauvais rêves				
i) vous avez eu des douleurs				
j) pour d'autre(s) raison(s). Donnez une description :				
Indiquez la fréquence des troubles du sommeil pour ces raisons	Pas au cours du dernier mois	Moins d'1 fois par semaine	1 ou 2 fois par semaine	3 ou 4 fois par semaine

6/ Au cours du mois dernier, comment évalueriez-vous globalement la qualité de votre sommeil ?

- Très bonne Assez bonne Assez mauvaise Très mauvaise

7/ Au cours du mois dernier, combien de fois avez-vous pris des médicaments (prescrits par votre médecin ou achetés sans ordonnance) pour faciliter votre sommeil ?

- Pas au cours du dernier mois Moins d'1 fois par semaine 1 ou 2 fois par semaine 3 ou 4 fois par semaine

8/ Au cours du mois dernier, combien de fois avez-vous eu des difficultés à demeurer éveillé(e) pendant que vous conduisiez, preniez vos repas, étiez occupé(e) dans une activité sociale ?

- Pas au cours du dernier mois Moins d'1 fois par semaine 1 ou 2 fois par semaine 3 ou 4 fois par semaine

9/ Au cours du mois dernier, à quel degré cela a-t-il représenté un problème pour vous d'avoir assez d'enthousiasme pour faire ce que vous aviez à faire ?

- Pas du tout un problème Seulement un tout petit problème Un certain problème Un très gros problème

10/ Avez-vous un conjoint ou un camarade de chambre ?

CENTRE DU SOMMEIL ET DE LA VIGILANCE HÔTEL-DIEU, PARIS

- Ni l'un, ni l'autre
- Oui, mais dans une chambre différente
- Oui, dans la même chambre mais pas dans le même lit
- Oui, dans le même lit

11/ Si vous avez un camarade de chambre ou un conjoint, demandez-lui combien de fois le mois dernier vous avez présenté :

	Pas au cours du dernier mois	Moins d'1 fois par semaine	1 ou 2 fois par semaine	3 ou 4 fois par semaine
a) un ronflement fort				
b) de longues pauses respiratoires pendant votre sommeil				
c) des saccades ou des secousses des jambes pendant que vous dormiez				
d) des épisodes de désorientation ou de confusion pendant le sommeil				
e) d'autres motifs d'agitation pendant le sommeil				

Score global au PSQI :

Calcul du score global au PSQI

Le PSQI comprend 19 questions d'auto-évaluation et 5 questions posées au conjoint ou compagnon de chambre (s'il en est un). Seules les questions d'auto-évaluation sont incluses dans le score. Les 19 questions d'auto-évaluation se combinent pour donner 7 "composantes" du score global, chaque composante recevant un score de 0 à 3.

Dans tous les cas, un score de 0 indique qu'il n'y a aucune difficulté tandis qu'un score de 3 indique l'existence de difficultés sévères. Les 7 composantes du score s'additionnent pour donner un score global allant de 0 à 21 points, 0 voulant dire qu'il n'y a aucune difficulté, et 21 indiquant au contraire des difficultés majeures.

Composante 1 : Qualité subjective du sommeil

↪ Examinez la question 6, et attribuez un score :

Très bonne = 0 Assez bonne = 1 Assez mauvaise = 2 Très mauvaise = 3

Score de la composante 1 =

Composante 2 : Latence du sommeil

↪ Examinez la question 2, et attribuez un score :

≤ 15 mn = 0 16-30 mn = 1 31-60 mn = 2 > 60 mn = 3

Score de la question 2 =

↪ Examinez la question 5a, et attribuez un score :

Pas au cours Moins d'1 fois 1 ou 2 fois 3 ou 4 fois
du dernier mois = 0 par semaine = 1 par semaine = 2 par semaine = 3

Score de la question 5a =

↪ Additionnez les scores des questions 2 et 5a, et attribuez le score de la composante 2 :

Somme de 0 = 0 Somme de 1-2 = 1 Somme de 3-4 = 2 Somme de 5-6 = 3

Score de la composante 2 =

Composante 3 : Durée du sommeil

↪ Examinez la question 4, et attribuez un score :

> 7 h = 0 6-7 h = 1 5-6 h = 2 < 5 h = 3

Score de la composante 3 =

Composante 4 : Efficacité habituelle du sommeil

- Indiquez le nombre d'heures de sommeil (question 4) :
 - Calculez le nombre d'heures passées au lit :
Heure du lever (question 3) :
Heure du coucher (question 1) :
Nombre d'heures passées au lit :
 - Calculez l'efficacité du sommeil : (Nb heures sommeil/Nb heures au lit) x 100 =
Efficacité habituelle (en %) ⇒ (...../.....) x 100 = %
 - Attribuez le score de la composante 4 :
> 85% = 0 75-84% = 1 65-74% = 2 < 65% = 3
- Score de la composante 4 =**

Composante 5 : Troubles du sommeil

- Examinez les questions 5b à 5j, et attribuez des scores à chaque question :
Pas au cours Moins d'1 fois 1 ou 2 fois 3 ou 4 fois
du dernier mois = 0 par semaine = 1 par semaine = 2 par semaine = 3
- Score de la question 5b = 5c = 5d = 5e = 5f =
5g = 5h = 5i = 5j =**
- Additionnez les scores des questions 5b à 5j, et attribuez le score de la composante 5 :
Somme de 0 = 0 Somme de 1-9 = 1 Somme de 10-18 = 2 Somme de 19-27 = 3
- Score de la composante 5 =**

Composante 6 : Utilisation d'un médicament du sommeil

- Examinez la question 7, et attribuez un score :
Pas au cours Moins d'1 fois 1 ou 2 fois 3 ou 4 fois
du dernier mois = 0 par semaine = 1 par semaine = 2 par semaine = 3
- Score de la composante 6 =**

Composante 7 : Mauvaise forme durant la journée

⇒ Examinez la question 8, et attribuez un score :

Pas au cours du dernier mois = 0	Moins d'1 fois par semaine = 1	1 ou 2 fois par semaine = 2	3 ou 4 fois par semaine = 3
-------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Score de la question 8 =

⇒ Examinez la question 9, et attribuez un score :

Pas du tout un problème = 0	Seulement un tout petit problème = 1	Un certain problème = 2	Un très gros problème = 3
--------------------------------	---	----------------------------	------------------------------

Score de la question 9 =

⇒ Additionnez les scores des questions 8 et 9, et attribuez le score de la composante 7 :

Somme de 0 = 0	Somme de 1-2 = 1	Somme de 3-4 = 2	Somme de 5-6 = 3
----------------	------------------	------------------	------------------

Score de la composante 7 =

Score global au PSQI

⇒ Additionnez les scores des 7 composantes :

Annexe B

Le Questionnaire SF-12

SF-12 Health Survey

This survey asks for your views about your health. This information will help keep track of how you feel and how well you are able to do your usual activities. Answer each question by choosing just one answer. If you are unsure how to answer a question, please give the best answer you can.

1. In general, would you say your health is:

Excellent Very good Good Fair Poor

The following questions are about activities you might do during a typical day. Does your health now limit you in these activities? If so, how much?

	YES, limited a lot	YES, limited a little	NO, not limited at all
2. Moderate activities such as moving a table, pushing a vacuum cleaner, bowling, or playing golf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Climbing several flights of stairs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

During the past 4 weeks, have you had any of the following problems with your work or other regular daily activities as a result of your physical health?

	YES	NO
4. Accomplished less than you would like.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were limited in the kind of work or other activities.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

During the past 4 weeks, have you had any of the following problems with your work or other regular daily activities as a result of any emotional problems (such as feeling depressed or anxious)?

	YES	NO
6. Accomplished less than you would like.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Did work or activities less carefully than usual.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. During the past 4 weeks, how much did pain interfere with your normal work (including work outside the home and housework)?

Not at all A little bit Moderately Quite a bit Extremely

These questions are about how you have been feeling during the past 4 weeks.

For each question, please give the one answer that comes closest to the way you have been feeling.

How much of the time during the past 4 weeks...

	All of the time	Most of the time	A good bit of the time	Some of the time	A little of the time	None of the time
9. Have you felt calm & peaceful?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Did you have a lot of energy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Have you felt down-hearted and blue?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. During the past 4 weeks, how much of the time has your physical health or emotional problems interfered with your social activities (like visiting friends, relatives, etc.)?

All of the time Most of the time Some of the time A little of the time None of the time

Patient name:	Date:	PCS:	MCS:
Visit type (circle one)			
Preop	6 week	3 month	6 month
		12 month	24 month
			Other: _____

Annexe C

Le Questionnaire GPAQ

Activité physique			
<p>Je vais maintenant vous poser quelques questions sur le temps que vous consacrez à différents types d'activité physique lors d'une semaine typique. Veuillez répondre à ces questions même si vous ne vous considérez pas comme quelqu'un d'actif.</p> <p>Pensez tout d'abord au temps que vous y consacrez au travail, qu'il s'agisse d'un travail rémunéré ou non, de tâches ménagères, de cueillir ou récolter des aliments, de pêcher ou chasser, de chercher un emploi. [Ajouter d'autres exemples si nécessaire]. Dans les questions suivantes, les activités physiques de forte intensité sont des activités nécessitant un effort physique important et causant une augmentation conséquente de la respiration ou du rythme cardiaque, et les activités physiques d'intensité modérée sont des activités qui demandent un effort physique modéré et causant une petite augmentation de la respiration ou du rythme cardiaque.</p>			
Question	Réponse	Code	
Activités au travail			
1	<p>Est-ce que votre travail implique des activités physiques de forte intensité qui nécessitent une augmentation conséquente de la respiration ou du rythme cardiaque, comme [soulever des charges lourdes, travailler sur un chantier, effectuer du travail de maçonnerie] pendant au moins 10 minutes d'affilée ?</p> <p>[INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]</p>	<p>Oui 1</p> <p>Non 2 Si Non, aller à P4</p>	P1
2	Habituellement, combien de jours par semaine effectuez-vous des activités physiques de forte intensité dans le cadre de votre travail ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P2
3	Lors d'une journée habituelle durant laquelle vous effectuez des activités physiques de forte intensité, combien de temps consacrez-vous à ces activités ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P3 (a-b)
4	Est-ce que votre travail implique des activités physiques d'intensité modérée, comme une marche rapide ou [soulever une charge légère] durant au moins 10 minutes d'affilée ?	Oui 1	P4
	[INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]	Non 2 Si Non, aller à P 7	
5	Habituellement, combien de jours par semaine effectuez-vous des activités physiques d'intensité modérée dans le cadre de votre travail ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P5
6	Lors d'une journée habituelle durant laquelle vous effectuez des activités physiques d'intensité modérée, combien de temps consacrez-vous à ces activités ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P6 (a-b)
Se déplacer d'un endroit à l'autre			
<p>Les questions suivantes excluent les activités physiques dans le cadre de votre travail, que vous avez déjà mentionnées.</p> <p>Maintenant, je voudrais connaître votre façon habituelle de vous déplacer d'un endroit à l'autre ; par exemple pour aller au travail, faire des courses, aller au marché, aller à votre lieu consacré au culte. [Ajouter d'autres exemples si nécessaire]</p>			
7	Est-ce que vous effectuez des trajets d'au moins 10 minutes à pied ou à vélo ?	Oui 1	P7
		Non 2 Si Non, aller à P 10	
8	Habituellement, combien de jours par semaine effectuez-vous des trajets d'au moins 10 minutes à pied ou à vélo ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P8
9	Lors d'une journée habituelle, combien de temps consacrez-vous à vos déplacements à pied ou à vélo ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P9 (a-b)

Question	Réponse	Code	
Activités de loisirs			
Les questions suivantes excluent les activités liées au travail et aux déplacements que vous avez déjà mentionnées. Maintenant je souhaiterais vous poser des questions sur le sport, le fitness et les activités de loisirs. <i>[Insérer les termes appropriés]</i>			
10	Est-ce que vous pratiquez des sports, du fitness ou des activités de loisirs de forte intensité qui nécessitent une augmentation importante de la respiration ou du rythme cardiaque comme (courir ou jouer au football) pendant au moins dix minutes d'affilée ? <i>[INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]</i>	Oui 1 Non 2 <i>Si Non, aller à P 13</i>	P10
11	Habituellement, combien de jours par semaine pratiquez-vous une activité sportive, du fitness ou d'autres activités de loisirs de forte intensité ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P11
12	Lors d'une journée habituelle, combien de temps y consacrez-vous ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P12 (a-b)
13	Est-ce que vous pratiquez des sports, du fitness ou des activités de loisirs d'intensité modérée qui nécessitent une petite augmentation de la respiration ou du rythme cardiaque comme la marche rapide (faire du vélo, nager, jouer au volley) pendant au moins dix minutes d'affilée ? <i>[INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]</i>	Oui 1 Non 2 <i>Si Non, aller à P16</i>	P13
14	Habituellement, combien de jours par semaine pratiquez-vous une activité sportive, du fitness ou d'autres activités de loisirs d'intensité modérée ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P14
15	Lors d'une journée habituelle, combien de temps y consacrez-vous ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P15 (a-b)
Comportement sédentaire			
La question suivante concerne le temps passé en position assise ou couchée, au travail, à la maison, en déplacement, à rendre visite à des amis, et inclut le temps passé [assis devant un bureau, se déplacer en voiture, en bus, en train, à lire, jouer aux cartes ou à regarder la télévision] mais n'inclut pas le temps passé à dormir. <i>[INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]</i>			
16	Combien de temps passez-vous en position assise ou couchée lors d'une journée habituelle ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P16 (a-b)

RÉSUMÉS EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS

Effets de deux types d'entraînement de force (hypertrophie vs. lourd-léger) sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des femmes âgées saines

Résumé : Le but principal de cette thèse était d'explorer les effets de deux types d'entraînement de force (hypertrophie vs. lourd-léger) sur les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez des femmes âgées saines. 49 femmes saines âgées (60-70 ans) ont complété l'étude. La population a été divisée de manière aléatoire en trois groupes : groupe hypertrophie (n = 16), groupe lourd-léger (n = 16) et groupe témoin (n = 17). L'entraînement pour les groupes expérimentaux (groupe hypertrophie et groupe lourd-léger) a duré 12 mois à raison de deux séances d'entraînement par semaine. Les paramètres osseux (contenu minéral osseux (CMO), densité minérale osseuse (DMO) et géométrie osseuse de la hanche) et les paramètres de performance physique ont été évalués avant et après les 12 mois d'entraînement chez les trois groupes. Au départ, il n'y avait pas de différences significatives entre les trois groupes au niveau de tous les paramètres mesurés. Les paramètres de force maximale ont augmenté de manière comparable dans les deux groupes expérimentaux. La détente verticale a augmenté dans le groupe lourd-léger. Le CMO CE, la DMO CE, la DMO L1-L4, la DMO HT, la DMO CF, la CSA, le CSMI, le SI, le CSI, le BSI et l'ISI ont significativement augmenté dans le groupe lourd-léger. Le CMO CE, la DMO CE, la DMO L1-L4, la CSA, le CSMI, le SI, le CSI, le BSI et l'ISI ont significativement augmenté chez le groupe hypertrophie. Le CMO CE, la DMO CE, la DMO L1-L4, la DMO HT, la DMO CF, la CSA, le CSMI, le SI, le CSI, le BSI et l'ISI ont significativement diminué chez le groupe témoin. En conclusion, cette étude montre que les deux types d'entraînement en force (contraste de charge (lourd-léger) et hypertrophie) sont efficaces pour augmenter les paramètres osseux et les paramètres de performance physique chez les femmes âgées saines. L'entraînement lourd-léger est plus efficace que l'entraînement hypertrophie pour l'amélioration de la détente verticale, de la DMO CE, de la DMO HT et de la DMO CF dans la population étudiée.

Mots clés : Entraînement en résistance ; Ménopause ; Perte osseuse ; Vieillesse ; Géométrie osseuse.

Effects of two types of strength training (hypertrophy vs. contrast training) on bone parameters and physical performance parameters in a group of healthy elderly women

Abstract: The main aim of this thesis was to explore the effects of two types of resistance training (hypertrophy vs. contrast training) on bone parameters and physical performance parameters in a group of healthy elderly women. 49 healthy elderly women (aged from 60 to 70 years) completed the study. The study population was randomly divided into three groups: hypertrophy group (n=16), contrast training group (n=16) and control group (n=17). The training duration for the two experimental groups (hypertrophy and contrast training) was 12 months with a frequency of 2 training sessions per week. Bone parameters (bone mineral content (BMC), bone mineral density (BMD) and bone geometry indices) and physical performance parameters were evaluated before and after the 12-month intervention in the three groups. At baseline, there were no significant differences among the three groups regarding all measured parameters. Maximal strength measurements increased similarly in both experimental groups. Vertical jump increased in the contrast training group. WB BMC, WB BMD, L1-L4 BMD, TH BMD, FN BMD, CSA, CSMI, SI, CSI, BSI and ISI significantly increased in the contrast training group. WB BMC, WB BMD, L1-L4 BMD, CSA, CSMI, SI, CSI, BSI and ISI significantly increased in the hypertrophy group. WB BMC, WB BMD, L1-L4 BMD, CSA, CSMI, SI, CSI, BSI and ISI significantly decreased in the control group. In conclusion, the current study shows that both resistance training types (contrast training and hypertrophy) are effective in increasing bone parameters and physical performance parameters in healthy elderly women. Contrast training is more effective compared to hypertrophy training in enhancing vertical jump, WB BMD, TH BMD and FN BMD in the studied population.

Keywords: Resistance training; Menopause; Bone loss; Ageing; Bone geometry.

Ecole doctorale :
(Sciences Sociales et Humanités)

Laboratoire :
(Laboratoire Mouvement, Equilibre, Performance, Santé)

CONTACT

(à personnaliser s'il y a lieu)