

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

MÉMOIRE

LA RELATION ENTRE LA FORCE MUSCULAIRE ET LES FACTEURS DE RISQUES
MÉTABOLIQUES CHEZ LES FEMMES OBÈSES POST-MÉNOPAUSÉES

DOCUMENT

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

PHILIPPE BELLEFEUILLE

FÉVRIER 2011

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières.....	i
Résumé.....	ii
Remerciements.....	iii
CHAPITRE 1.....	4
1.1 INTRODUCTION.....	4
1.2 PROBLÉMATIQUE.....	4
1.3 OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....	6
1.4 PERTINENCE.....	6
1.5 LIMITES.....	6
CHAPITRE 2 RECENSION DES ÉCRITS.....	7
2.1 BIENFAIT DE L'ENTRAÎNEMENT EN MUSCULATION.....	7
2.2 RELATION ENTRE LA FORCE MUSCULAIRE ET LE PROFIL MÉTABOLIQUE.....	9
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....	12
3.1 SUJETS.....	12
3.3 ANALYSE STATISTIQUE ET TAILLE DE L'ÉCHANTILLON.....	17
CHAPITRE 4.....	19
CHAPITRE 5.....	22
Références.....	26
Tableaux.....	33

RÉSUMÉ

Les objectifs de cette étude étaient de comparer la relation entre les différentes méthodes et expressions de la force musculaire et les facteurs de risques métaboliques puis de comparer les changements de la force musculaire en utilisant différentes méthodes et expressions avant et après un entraînement en musculation. Quarante-et-une femmes obèses sédentaires post-ménopausées ont été recrutées pour cette étude (âge : 59.3 ± 4.6 ans; indice de masse corporelle : 34.2 ± 3.4 kg/m²; pourcentage de masse grasse : 47.3 ± 3.8 %). La force musculaire a été évaluée à l'aide de deux appareils d'entraînement incluant un développé des jambes pour le bas du corps (*leg press*) et un appareil développé assis (*chest press*) pour le haut du corps ainsi qu'avec un dynamomètre manuel. Nous avons mesuré la composition corporelle (DEXA), profil sanguin, la glycémie, la sensibilité à l'insuline, la dépense énergétique, la consommation maximale d'oxygène, la pression artérielle et le profil psychosocial. Les résultats montrent que les corrélations, les prédicteurs ainsi que les changements de la force musculaire selon la méthode varient de manière importante avec les facteurs de risque métaboliques. Par exemple, pour le VO_{2peak} , nous observons des corrélations différentes avec les indices de force musculaire entre le VO_{2peak} (L/min) (une négative et une positive), le VO_{2peak} (ml/kg/min) et le VO_{2peak} (ml/kg MM/min). De plus, lorsque la force musculaire est évaluée avec les appareils de musculation, nous remarquons que la masse osseuse est un prédicteur de la force musculaire quand elle est exprimée en kg et également lorsqu'elle est exprimée en kg/kg de masse maigre. Nous remarquons de plus que la force musculaire exprimée en joules est prédite par l'indice HOMA. D'autre part, nous n'avons trouvé aucun prédicteur de force musculaire quand la force musculaire est exprimée en kg/kg de poids corporel, en Joules/kg de poids corporel ainsi qu'en Joule/kg de masse maigre. Finalement, pour la force musculaire évaluée avec les appareils de musculation, les changements observés de force musculaire varient significativement entre 14.7 et 23.3 %. En conclusion, la présente étude nous indique que les corrélations, les prédicteurs ainsi que les changements de la force musculaire selon la méthode d'évaluation et d'expression varient de manière importante avec les facteurs de risque métaboliques.

Mots clés : force musculaire, profil métabolique, entraînement en musculation, composition corporelle, profil sanguin, glycémie, sensibilité à l'insuline, dépense énergétique, consommation maximale d'oxygène, pression artérielle

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de maîtrise, Dr Antony Karelis, pour tout l'encadrement, l'enseignement et la présence dont il a fait preuve tout au long du projet. J'aimerais également remercier Marie-Ève Robillard avec qui j'ai passé le plus gros de mon temps pour la réalisation de ce projet. Je remercie également le Dr Rémi Rabasa-Lhoret pour nous avoir donné l'accès à son laboratoire ainsi qu'à toute son équipe sans qui le projet n'aurait jamais pu être réalisé. J'aimerais remercier plus particulièrement les personnes suivantes pour leur aide durant le projet : Diane Migneault, Mylène Aubertin-Leheudre, Marie-Ève Filion, Jérémy Fabre, Philippe Briand et Marie-Josée Roy. Finalement, je remercie les organismes subventionnaires suivants : les Instituts de de Recherche en Santé du Canada (IRSC), Fonds de Recherche en Santé du Québec (FRSQ), Diabète Québec, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal (IUGM), Université du Québec à Montréal (UQAM) et The Obesity Society qui ont permis la réalisation de ce projet.

CHAPITRE 1

1.1 Introduction

L'entraînement aérobie a longtemps été le type d'activité préconisé pour ressentir les effets bénéfiques sur la santé. L'augmentation de l'endurance cardiovasculaire se traduit par une augmentation de la santé cardiorespiratoire qui a été, et qui est encore aujourd'hui pour bien des gens, le meilleur indicateur de la santé en générale. Cependant, un nombre toujours grandissant d'études démontrent que l'entraînement en musculation améliore certains aspects de la santé alors que l'entraînement en endurance n'a peu ou aucun effet sur la masse musculaire ou la densité osseuse. L'American College of Sport Medicine (ACSM) suggère de combiner un entraînement en musculation à tous les programmes d'entraînement visant une amélioration de la santé générale. Les paramètres recommandés sont les suivants; 8 à 10 exercices couvrants tous les grands groupes musculaire, minimum d'une série entre 8 et 12 répétitions (10 à 15 répétitions pour les personnes plus âgées) [1]. Bien que l'entraînement en musculation puisse parfois augmenter la consommation maximale d'oxygène [2], l'objectif premier de ce type d'entraînement est surtout l'augmentation de la force musculaire ainsi qu'une hypertrophie au niveau du muscle. Chez une population âgée, l'ACSM recommande un minimum de deux séances de musculation par semaine pour augmenter la force musculaire ou maintenir la masse musculaire [3].

1.2 Problématique

La force musculaire se définit comme l'habilité du muscle squelettique à produire une force supérieur (contraction concentrique), égale (contraction isométrique) ou inférieur (contraction excentrique) à une force externe (e.g. charge). [4]. Il a été montré que l'augmentation de la force musculaire est inversement associée à la mortalité [5] ainsi qu'aux complications métaboliques [6]. Il y aurait donc une relation entre la sensibilité à l'insuline, qui joue un rôle central du développement des complications métaboliques, et la force musculaire puisque le muscle squelettique est le plus grand consommateur de glucose. Ceci dit, plusieurs études ont mis en relation la force musculaire avec des facteurs de santé (e.g. sensibilité à l'insuline) en utilisant différentes méthodes pour la mesurer et l'exprimer [5-9]. Pris dans leur ensemble, ces résultats suggèrent qu'une association pourrait exister entre les fonctions métaboliques et les fonctions mécaniques du muscle. D'ailleurs une étude a suggérée que le diabète de type 2 est associé avec une diminution des capacités fonctionnels [10]. À ce jour, les méthodes d'évaluation (dynamomètre, appareils de musculation) de la force musculaire et la façon de l'exprimer (absolue et relatif) ne sont pas standardisées.

De plus, la force musculaire peut s'exprimer de différentes façons : force absolue (kg), force relative (e.g. kg / kg de poids corporel) et elle peut aussi être évaluée par le travail total (Joules), entre

autres. Ceci dit, pour pouvoir comparer les sujets entre eux, les valeurs de force musculaire sont normalisées par le poids. De plus, comme la force musculaire est produite par les muscles squelettiques, elle peut être également normalisée par la masse maigre des sujets. Finalement, bien que le travail musculaire ne soit pas une force en soit, cette variable peut jouer un rôle important dans la différenciation des expressions de force musculaire. En prenant en compte l'amplitude de mouvement, il est possible de discriminer deux sujets qui peuvent soulever une même charge mais avec des amplitudes de mouvements différents, ce qui amène une production de travail qui diffère de sujet en sujet. Or, en prenant compte de l'amplitude de mouvement, les joules peuvent être pris en considération.

Dues aux différentes méthodes de mesure et d'expression de la force musculaire, nous pouvons également avoir des résultats divergents, des variations dans le pourcentage d'amélioration de la force musculaire après un entraînement en musculation et des relations entre des variables métaboliques. Ajoutons également que dans la grande majorité des études, les sujets ne sont pas soumis à une période d'adaptation aux équipements d'entraînements, ce qui fait en sorte que les pourcentages d'amélioration peuvent atteindre des valeurs très élevées (jusqu'à 150%) [11]. Ces valeurs relativement élevées peuvent être reliées au fait que les tests de force sont seulement administrés une fois au début et une fois à la fin de la période d'entraînement. Or, un sujet peut moins bien performer d'une journée à l'autre ce qui pourrait affecter les valeurs de force musculaire. L'interprétation de ces facteurs se fait généralement en comparant les valeurs obtenues avant et après une période d'entraînement et en exprimant ceux-ci avec un pourcentage d'amélioration. Selon la méthode utilisée ou la façon d'exprimer la force musculaire, les résultats finaux peuvent ainsi varier considérablement. Néanmoins, à ce jour, aucune étude n'a vérifiée l'augmentation de la force musculaire (e.g. valeur absolue vs valeur relative) à travers les différentes méthodes et expressions évaluant la force musculaire après un programme d'exercice en musculation avec une population cible. Cette variation dans les résultats finaux pourrait, à tort, amener différentes conclusions et des biais. Plusieurs auteurs ont mis en relation la force musculaire et les complications métaboliques. Par contre, puisque la méthode d'évaluation ainsi que la façon d'exprimer la force musculaire ne sont pas les mêmes chez chaque auteur, nous ne sommes pas en mesure de connaître la relation « réelle » entre la force musculaire et les complications métaboliques.

1.3 Objectifs et hypothèses de recherche

1) Comparer les changements de la force musculaire en utilisant différentes méthodes et expressions avant et après un entraînement en musculation. *Nous présumons qu'après un entraînement en musculation, le niveau de force musculaire diffère selon les méthodes d'évaluation et d'expression de la force.*

2) Comparer la relation entre les différentes méthodes et expressions de la force musculaire avec les facteurs de risques métaboliques. *Nous présumons que la relation entre les méthodes et expressions de la force musculaire avec les facteurs de risques métaboliques diffèrera selon la méthode et la façon de l'exprimer.*

1.4 Pertinence

Ce projet nous donnera une meilleure compréhension des différents changements de force musculaire lors d'un entraînement de musculation. Ce projet permettra également de mieux comprendre le rôle de la force musculaire sur les facteurs de risques métaboliques. De plus, elle nous permettra de conscientiser les professionnels de la santé et les physiologistes de l'exercice sur l'importance de mesurer et exprimer la force musculaire ainsi que son impact sur la performance et la santé dans les projets de recherche clinique et épidémiologique.

1.5 Limites

Cette étude comporte plusieurs limites. Tout d'abord, notre échantillon de sujets est composé uniquement de femmes obèses sédentaires post-ménopausées et non diabétiques. Les femmes post-ménopausées étant plus susceptibles d'avoir des complications métaboliques par rapport aux hommes du même âge (ex. niveaux d'hormones inconstants et baisse d'estrogène et de progestérone). De plus, en excluant les femmes ayant des menstruations, nous évitons des variations trop importantes au niveau hormonal. Nos résultats sont donc limités à cette population. Par la suite, nous avons utilisé un type d'appareil de musculation (Atlantis). Les résultats liés aux charges et à l'amplitude de mouvement ne seront pas les mêmes sur des appareils d'une autre marque. Ensuite, nous utiliserons une approche transversale, ce qui nous ne nous permettra pas de conclure à un rapport de cause à effet entre la force musculaire et des variables métaboliques. Malgré ces limites, nos résultats seront renforcés par l'utilisation de techniques de référence (ex. dual energy X-ray absorptiometry (DEXA), calorimétrie indirecte) dans une population bien caractérisée.

CHAPITRE 2

RECENSION DES ÉCRITS

2.1 Bienfait de l'entraînement en musculation

Il est connu que l'entraînement en musculation peut mener à une augmentation de la masse musculaire, de la densité osseuse et de la force musculaire, et ce, même chez une population âgée. Nous savons également que la masse musculaire, la densité osseuse ainsi que la force musculaire diminuent avec l'âge. L'entraînement en musculation étant davantage pratiqué par les personnes en bonne santé, la littérature nous suggère que ce type d'entraînement peut avoir des bénéfices sur les personnes âgées

TABLE 1. Comparison of the Effects of Aerobic Training to Resistance Training on Health and Fitness Variables

Variable	Aerobic Exercise	Resistance Exercise
Bone mineral density	↑	↑ ↑ ↑
Body composition		
Fat mass	↓ ↓	↓
Muscle mass	↔	↑ ↑
Strength	↔	↑ ↑ ↑
Glucose metabolism		
Insulin response to glucose challenge	↓ ↓	↔
Basal insulin levels	↓	↔
Insulin sensitivity	↔	↔
Serum lipids		
High-density lipoprotein	↔	↑ ↔
Low-density lipoprotein	↓ ↔	↓ ↔
Resting heart rate	↔	↔
Blood pressure at rest		
Systolic	↓ ↓	↓
Diastolic	↓ ↓	↓
Physical endurance	↑ ↑ ↑	↑ ↑
Basal metabolism	↑	↑ ↑

↑ indicates increased; ↓, decreased; and ↔, negligible effect.

Figure 1 : Comparaison entre les effets d'un entraînement en musculation et d'un entraînement en aérobie sur différents marqueurs métabolique. Tirée de Braith et Stewart (2006)

après un entraînement en musculation qu'après un entraînement en endurance [20]. Pour ce qui est du profil lipidique, un entraînement en musculation d'une durée de cinq mois affecte favorablement les valeurs de cholestérol total, de « *Low Density Lipoprotein* » (LDL) ainsi que des triglycérides

(figure 1). Il a été montré qu'entre 70 et 75 ans, les hommes et les femmes perdent de la masse musculaire, gagnent de la masse grasse et perdent de la force musculaire [12]. Au niveau de la composition corporelle, un entraînement en résistance de seize semaines chez des hommes âgés mène à une augmentation de la masse musculaire et une diminution de la masse grasse [13]. Plusieurs études démontrent qu'un entraînement en musculation conduit les personnes âgées à une meilleure autonomie [14], améliore le contrôle de la glycémie chez des personnes atteintes de diabète de type 2 [7, 8], augmente la sensibilité à l'insuline [15-17] et améliore l'endurance cardiovasculaire [18]. De plus, l'entraînement en musculation peut prévenir l'ostéoporose [19]. Certaines études démontrent même qu'il y a une amélioration plus marquée du contrôle de la glycémie

plasmatiques [21]. Ces conclusions concordent avec celles d'une méta-analyse qui identifie vingt-neuf études dans lesquelles ont été évalués 1329 participants. Le niveau sanguin de cholestérol total, le « *High Density Lipoprotein* » (HDL), le LDL, les triglycérides ainsi que le ratio cholestérol total/HDL ont été mesuré. Une amélioration significative a été observée dans tous ces paramètres, à l'exception du HDL, après une période d'entraînement en musculation [22]. Cependant, il semble qu'un entraînement d'une durée de huit semaines ne soit pas assez long pour constater des changements au niveau du profil lipidique et de la composition corporelle [9]. La figure 2 nous présente la comparaison entre les effets d'un entraînement en musculation avec les effets d'un entraînement en aérobie [23]. On constate que dans plusieurs variables exprimant la composition corporelle et le profil métabolique, l'entraînement en musculation engendre les mêmes bénéfices que l'entraînement en aérobie.

2.2 Relation entre la force musculaire et le profil métabolique

Bien qu'un entraînement en musculation puisse augmenter la masse musculaire, il semble que l'augmentation de la force musculaire joue un rôle plus important sur les différents facteurs de santé [24]. Plusieurs études ont mis en relation la force musculaire avec la mortalité et le profil métabolique. Les données d'Al Snih et al. (2002) démontrent que la force de préhension est corrélée avec les risques de mortalité chez une population âgée d'origine mexicaine [25]. Trente huit pourcent des hommes qui avaient une force de préhension inférieure à 22,01 kg sont décédés durant les 5 années suivantes. Chez les femmes, 41,5% des participantes qui avaient une force de préhension inférieure à 14 kg sont décédées durant les 5 années suivantes. Rantanen et al. (2003) démontrent également la relation entre la force de préhension et la mortalité. Le ratio de décès par 1000 personnes est de 24,8% pour le tiers inférieur, 18,5% pour le tiers médian et de 14% pour le tiers supérieur de la force de préhension [26]. La force de préhension prédit également les risques de mortalité indépendamment de l'indice de masse corporelle des sujets [27]. À notre connaissance, peu d'études ont mis en relation la force musculaire avec les complications métaboliques. Les données de Jurca et al. (2004) démontrent que la force des membres supérieurs et inférieurs (en kg/kg de masse corporelle) est inversement associée avec les risques du syndrome métabolique. En effet, les hommes qui se situent dans le premier quartile de force musculaire ont 34% moins de chance de développer le syndrome métabolique que ceux dans le quartile inférieur [6]. Les données d'Atlantis et al. (2009) abondent dans le même sens. Le quartile inférieur de force de préhension, exprimée en kg/kg de masse maigre des bras, avait en moyenne 32% plus de chance de développer le syndrome métabolique contre 17% pour les personnes étant dans le quartile supérieur [28]. Miyatake et al. (2007) remarquent que les individus atteints du syndrome métabolique avaient une force musculaire inférieure à ceux qui ne sont pas atteints lorsque la force musculaire est exprimée en kg/kg de masse corporelle [29]. La force musculaire est également associée à une meilleure sensibilité à l'insuline. La sensibilité à l'insuline (clamp hyperinsulinimique-euglycémique), la composition corporelle (DEXA) ainsi que la force musculaire, exprimé en kg/kg de masse maigre, des membres inférieurs de 82 femmes post-ménopausées ayant un surplus de poids ou obèses ont été mesurées. Une relation positive a été observée entre la sensibilité à l'insuline et la force musculaire des membres inférieurs [30]. De ce fait, les valeurs de sensibilité à l'insuline ne sont pas nécessairement meilleures chez les femmes obèses post-ménopausées avec une masse maigre plus importante [31]. Un entraînement en musculation peut augmenter la sensibilité à l'insuline chez les personnes âgées malgré le fait que le VO_{2max} et la composition corporelle restent inchangés [17].

2.3 Différentes méthodes d'évaluer et d'exprimer la force musculaire

L'évaluation de la force musculaire n'est présentement pas standardisée. D'une étude à l'autre, la force musculaire avant et après une période d'entraînement, les tests diffèrent beaucoup d'un auteur à l'autre [32, 33]. La force musculaire peut s'évaluer par la force isométrique, la méthode de la répétition maximale (1RM) ou avec un dynamomètre (eg. appareil Kin-Com ou force de préhension). L'expression de la force musculaire peut également différer selon l'auteur. La plupart du temps, la force absolue, exprimée en kg ou en N est utilisée pour exprimer la force musculaire. La force relative est également utilisée pour exprimer la force musculaire. Par contre, elle peut être relative à la masse corporelle, à la masse maigre ou avec un segment du corps (eg.

kg/kg de masse maigre des bras). Le **tableau 1** montre différents protocoles d'entraînement avec différentes méthodes d'évaluer et d'exprimer la force musculaire. La figure 2 nous montre les

changements de force musculaire exprimée en kilogrammes (kg) ainsi qu'en Newton par mètre (Nm). Ces différentes manières d'exprimer et de mesurer la force musculaire peuvent créer des biais qui amènent à une mauvaise interprétation des résultats. Par exemple, dans une étude d'Izquierdo et al. (2001), l'évaluation de la force musculaire a été mesurée avant et après une période d'entraînement de 16 semaines sur des hommes âgés. Les tests ont été effectués sur le développé couché ainsi que sur le squat [34]. Des marqueurs d'inflammations ont été mis en relation avec la force musculaire évaluée par deux méthodes; la force de préhension (kg) ainsi que la force isocinétique des extenseurs des jambes (Nm) puisque que quelques études ont montrées que les marqueurs d'inflammations peuvent contribuer à la dégradation musculaire [35, 36]. Le récepteur cellulaire soluble d'un des marqueurs d'inflammation (IL-6sR) était inversement associé avec la force de préhension, mais cette relation n'est pas observé lorsque la force musculaire est mesurée avec la force des extenseurs des jambes [37]. Dans le même sens, un niveau

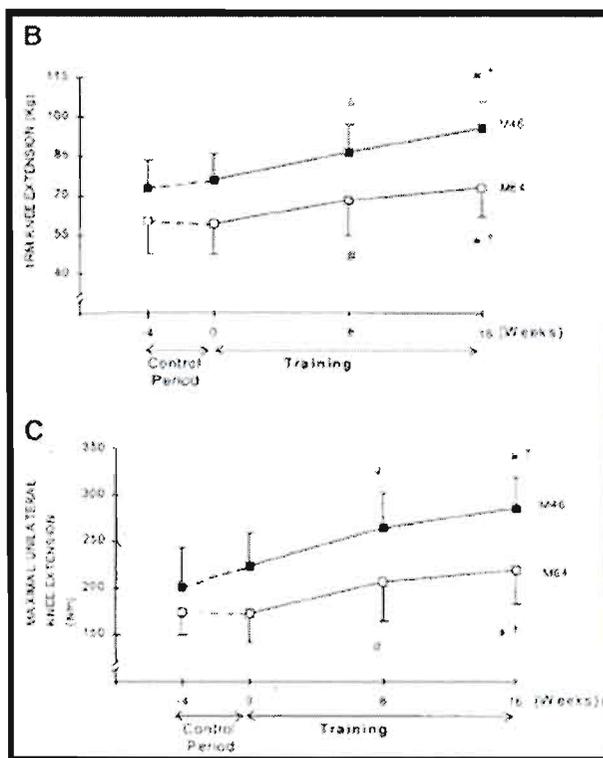


Figure 2 : 1RM sur l'extension unilatéral du genou exprimé en kg (B) et contraction maximal isométrique des extenseurs du genou exprimé en Nm (C). Tirée d'Izquierdo et al. (2001)

élevé d'interleukin-6 (IL-6), un marqueur d'inflammation, est associé avec un faible niveau de force de préhension, mais cette corrélation n'est pas observée avec la force des extenseurs des jambes [38]. Une étude de Barzilay et al. (2009) montre également une différence dans l'interprétation selon la façon d'exprimer la force musculaire. En effet, on constate que lorsque la force musculaire est exprimée en Nm, la relation avec la résistance à l'insuline n'est pas significative. Par contre, lorsque la force musculaire est exprimée en relation avec la masse musculaire, soit en Nm /kg de masse musculaire, la relation entre la force musculaire et la résistance à l'insuline devient significative [39]. Par ailleurs, la force musculaire relative à la masse maigre (kg/kg MM) a également été mise en relation avec la sensibilité à l'insuline [30]. De plus, la force relative à la masse maigre peut avoir une meilleure corrélation avec la masse maigre des bras seulement qu'avec la masse maigre du corps entier pour un test de force de préhension [28]. Miyatake et al. (2007) rapportent que la force musculaire aux jambes, en valeur absolue, était plus élevée chez les sujets ayant le syndrome métabolique que chez les sujets sains. Par contre, la force musculaire relative au poids corporel est significativement plus élevée chez les sujets qui n'ont pas le syndrome métabolique comparativement à ceux qui en sont atteints [29]. De plus, puisque certaines méthodes d'évaluation de la force musculaire peuvent être moins conviviales que d'autre en raison des équipements et de leur fonctionnement, des comparaisons entre plusieurs méthodes d'évaluations ont été étudiées. La force isométrique a été comparée avec la force de préhension sur dynamomètre chez des patients souffrant d'un désordre qui affectent les motoneurones. Le test de force de préhension s'est avéré sensible pour des forces de 250N et moins due à leur faible niveau de force musculaire. Par contre, la sensibilité entre les deux tests diminue lorsque la force est supérieure à 250N [40]. Ajoutons que dans certaines études, les auteurs utilisent plusieurs indices de force musculaire. En effet, Hagerman et al. (2000) mesurent le pourcentage d'amélioration après un entraînement en musculation de 16 semaines, en relation avec les réponses métaboliques, sur les exercices suivants : développé des jambes, extension des jambes et le squat. Puisque les pourcentages d'amélioration de force musculaire ont tous été différents pour chaque exercice (50,4% pour l'extension des jambes, 72,3% pour le développé des jambes et 83,5% pour le demi-squat), il devient difficile de mettre en relation la force musculaire, car nous nous retrouvons avec plusieurs valeurs d'amélioration de celle-ci [41]. De plus, Izquierdo et al. (2001) mesurent la force musculaire sur l'extension des jambes ainsi que sur le développé couché et le met en relation avec les changements hormonaux [32]. Dans ce cas-ci, deux indices de force musculaire sont pris en considération pour la relation avec les changements hormonaux. Or, nous suggérons que la force musculaire ne devrait pas être divisée lorsqu'elle est mise en relation avec des facteurs de santé (e.g. profil métabolique). Le **tableau 1** montre que plusieurs études utilisent plusieurs indices de force musculaire.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

3.1 Sujets

Quarante-et-une femmes obèses sédentaires post-ménopausées (voir *Analyses statistiques et taille de l'échantillon*) ont été recrutées pour cette étude. Les participantes ont tout d'abord été recrutées avec l'aide d'une banque de noms de sujets qui ont participé à des études précédentes. Par ailleurs, des annonces ont été placées dans le journal « Metro » pour la suite du recrutement. De plus, le recrutement a également été fait à l'Université de Montréal (UdeM), à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) ainsi qu'à l'Université Concordia. Les participantes devaient adhérer aux critères suivants : (1) femmes post-ménopausées âgées entre 50 et 70 ans, (2) avoir un indice de masse corporelle (IMC) entre 30 et 40 kg/m², (3) être sédentaire (moins de 2 heures d'activités physiques structurées par semaine), (4) non-fumeuses, (5) consommation d'alcool de faible à modérée (moins de 2 consommations par jour). Les sujets ne devaient en aucun cas avoir des antécédents ou des signes de : (6) maladies cardiovasculaires, (7) diabète, (8) limitations orthopédiques, (9) trouble alimentaire, (10) maladie de la glande thyroïde et (11) prise de médicaments qui peut affecter le métabolisme ou les fonctions cardiovasculaires. La participation à cette étude est tout à fait volontaire. Les participantes étaient donc libres d'accepter ou de refuser d'y participer et pouvaient se retirer de l'étude en tout temps, sur un simple avis verbal. Les participantes pouvaient également demander la destruction de leurs échantillons. Le projet a été accepté par le comité d'éthique de l'Institut de Recherche Clinique de Montréal (IRCM). Chaque participante devait signer un formulaire de consentement avant de débiter le protocole.

3.2 Procédures

Visite 1

La participante arrivait au laboratoire à jeun depuis au moins 12 heures. Si elle n'avait aucune question concernant le déroulement de l'étude, elle devait signer le formulaire de consentement qui lui avait été envoyé auparavant par courriel. Si la participante n'avait pas de courriel, le formulaire lui était donné sur place et elle prenait quelques minutes pour le lire et le signer. La taille et le poids de la participante étaient ensuite mesurés pour s'assurer que l'IMC se situait entre 30 et 40 kg/m². La participante se dirigeait avec l'infirmière pour effectuer les prélèvements sanguins. La participante devait ensuite boire une boisson sucrée (75 g de glucose) pour l'hyperglycémie provoquée par voie orale (HGPO). Des prises de sang ont été effectuées à la 30^e minute, 60^e minute, 90^e minute et la 120^e minute. Entre la prise de sang initiale et celle à la 30^e minute, la participante devait remplir un questionnaire psychosocial. La composition corporelle du sujet a ensuite été mesurée à l'aide d'un DEXA scan. La pression artérielle et la température du sujet ont ensuite été mesurées ainsi que les circonférences de la taille et de la cuisse. Un test de force de préhension à l'aide d'un dynamomètre manuel a été administré. Par la suite, la participante se voyait prêter un brassard qu'elle devait porter pour une période d'une semaine pour mesurer sa dépense énergétique.

Visite 2

La participante revenait la semaine suivante pour faire le test de consommation maximale d'oxygène (VO₂peak). Par la suite, nous avons ouvert l'enveloppe correspondant au numéro de la participante pour constater si elle était dans le groupe contrôle ou dans le groupe exercice. Si elle était dans le groupe contrôle, nous avons expliqué à la participante que nous allions communiquer avec elle chaque mois pour faire un suivi, par téléphone, de son poids. Nous avons également fixé un rendez-vous pour les post-tests. Si la participante était dans le groupe exercice, nous lui donnions rendez-vous pour le lundi suivant la visite 2 pour débiter la période d'entraînement. À la suite de la période d'entraînement, la participante faisait les mêmes tests que lors des deux premières visites.

Programme d'entraînement

Avant de débiter toute activité, que ce soit les tests de force ou bien les entraînements, la participante devait porter une montre polar pour mesurer les fréquences cardiaques tout au long de la séance. Le programme d'entraînement en musculation a été d'une durée de 4 mois et était composé de 3 séances non consécutives par semaine (i.e. Lundi, mercredi et vendredi). Notez que les 9 premières séances dans le programme de musculation servaient à une période d'adaptation aux appareils. L'entraînement a été fait avec une charge correspondant à approximativement 80 % du 1-RM. Chaque séance incluait un échauffement à basse intensité (marche) sur tapis roulant pendant 10 minutes. Chaque séance d'exercice était supervisée pour une progression optimale. Le programme de musculation était composé des exercices suivants: 1) développé des jambes; 2) développé des bras; 3) tirage vertical; 4) développé des épaules; 5) flexion des coudes et 6) extension des triceps. Ces exercices fournissent un entraînement en musculation pour tous les principaux groupes musculaires du corps. Chaque participante avait une gamme cible de charges et tentait de maintenir chaque série (ex. 3-4) dans la gamme cible en ajustant la charge pour permettre le nombre de répétitions prescrit (ex. 8-12). La période de repos était de 1 à 1,5 minute entre chaque série. Le programme d'exercice était supervisé par des kinésiologues.

Travail de l'entraînement

Le travail total des tests de force pré et post a été calculé en Joule (J). Il a été calculé en multipliant le volume d'entraînement (série x répétitions x charge (kg)) par l'amplitude en mètres et par $9,8 \text{ m/s}^2$.

Force musculaire

La force musculaire a été évaluée à l'aide de deux appareils d'entraînement incluant un développé des jambes pour le bas du corps (*leg press*) et un appareil développé assis (*chest press*) pour le haut du corps (Atlantis Precision Series, Atlantis Inc., Laval, Canada). La force musculaire a été mesurée en utilisant la technique de la répétition maximale (1-RM). Les sujets commençaient leur séance d'entraînement par une marche légère de 10 minutes sur un tapis roulant. Les tests de force musculaire ont été faits dans l'ordre suivant : d'abord, l'extension des membres inférieurs, suivi du développé assis. Pour chaque appareil, les sujets étaient conseillés par le kinésiologue en ce qui concerne la position du corps sur l'appareil et les ajustements à apporter. Pour tous les exercices, la première série était utilisée comme un échauffement de 10 répétitions avec une charge légère déterminée par le kinésiologue. Par la suite, la charge était augmentée jusqu'à ce que l'effort maximal soit atteint. Normalement, la répétition maximale était déterminée à l'intérieur de cinq essais avec une pause de quatre minutes entre chaque essai. Un échec était défini comme étant une extension incomplète de la charge soulevée. L'amplitude de chaque série était également mesurée (en m). La force a été exprimée en kg, en kg/kg de masse

corporelle, en kg/kg de masse maigre, en J, en J/kg de masse corporelle et en J/kg de masse maigre. Notez que les tests de force musculaire ont été mesurés trois fois dans une semaine après la période d'habitation.

Dynamomètre

La force développée par chaque main sera évaluée en utilisant le Smedley-Type Hand Dynamometer (ERP, Laval, QC, Canada), suivant la procédure du dynamomètre manuel (SCPE). Les participantes devaient serrer le dynamomètre le plus fort possible avec la main sur le côté du corps, en prenant le temps nécessaire afin de le serrer au maximum. La participante faisait le test trois fois par main, en alternance, en prenant une minute de repos entre les essais. Seul le meilleur résultat de chaque main a été pris en considération. Un indice de force musculaire a été exprimé en kg, en kg/masse total corporel, et en kg/masse maigre.

Échantillons sanguins

Après une période de jeûne de 12 heures, des échantillons de sang veineux ont été collectés par une infirmière pour la mesure de la concentration plasmatique du cholestérol total, du HDL, des triglycérides, du glucose et de l'insuline. Le plasma sanguin a été analysé le jour même du prélèvement sanguin. Les analyses ont été effectuées par l'analyseur COBAS INTEGRA 400 (Roche Diagnostic, Montréal, Canada) pour le cholestérol total, le HDL, les triglycérides, l'aspartate aminotransférase (AST), l'alanine aminotransférase (ALT) et hémoglobine. La concentration de cholestérol totale, de HDL et de triglycérides ont été utilisés dans la formule de Friedewald [42] pour calculer la concentration de LDL. Les niveaux d'insuline lors du jeûne ont été déterminés en duplicata par radioimmunoanalyse automatisée (Medicorp, Montréal, Canada). La concentration de glucose plasmatique a été mesurée avec un analyseur de glucose Beckman (Beckman Instrument, Fullerton, CA). Les concentrations de la protéine C-Réactive (CRP) et de l'apolipoprotéine B (ApoB) ont été déterminées par immunonephelométrie par l'analyseur IMMAGE (Beckman-Coulter, Montréal, Canada). La concentration d'acide gras libre a été mesurée avec un ensemble « commercial enzymatic colorimetric » (WAKO Chemicals, Richmond, VA).

Hyperglycémie provoquée par voie orale (HGPO)

Une HGPO de deux heures a été faite dans la matinée suite à 12 heures de jeûne. Soixante-quinze grammes de glucose devaient être ingérés selon le protocole de l'Association américaine de diabète (American Diabetes Association, 2004). Les échantillons de sang ont été collectés à l'aide d'un cathéter veineux implanté dans la veine antécubitale ainsi qu'un tube « vacutainer » contenant du EDTA (gel anticoagulant) aux temps 0, 30, 60, 90 et 120 (minutes). Au total, 80 ml de sang ont été prélevés. Le but de ce test était d'identifier les sujets qui étaient potentiellement diabétiques et de mesurer la sensibilité à l'insuline. À partir du test d'HGPO, la glycémie a été mesurée à l'aide du *Beckman Glucose Analyzer*

(Beckman Instrument, Irvine, CA, USA). Suite à ce test, si un sujet avait une glycémie à jeun au-dessus de 7.0 mmol/l ou à n'importe quel moment au-dessus de 11.0 mmol/l, il était exclu du projet et référé à un médecin.

Sensibilité à l'insuline

Pour mesurer la sensibilité à l'insuline à partir des valeurs de l'HGPO, l'équation de Matsuda [43] (index de sensibilité à l'insuline) soit : $10\,000 / [\text{racine carrée} (\text{glycémie à jeun (mg/dl)} \times \text{insuline à jeun } (\mu\text{UI/ml)}) \times \text{glycémie moyenne de tous les temps (mg/dl)} \times \text{insuline moyenne de tous les temps } (\mu\text{UI/ml})]$ a été utilisée. De plus, un index de la résistance à l'insuline *Hemeostasis model assessemnt* (HOMA) a été calculé selon la formule de Matthews [44] en utilisant les valeurs à jeun de glucose et d'insuline. Le HOMA se calcule selon la formule suivante: $[\text{insuline à jeun } (\mu\text{U/ml}) \times \text{glucose à jeun (mmol/liter)}] / 22.5$.

Composition corporelle

Le poids total, la masse grasse, la masse maigre, le pourcentage de masse grasse, la masse osseuse et la densité osseuse ont été évalués en utilisant le DEXA (GE Lunar Prodigy, Madison, WI). Deux circonférences étaient mesurées: taille et hanche. Elles ont été mesurées à l'aide d'une bande métrique en acier flexible à 0,5 cm près. Chaque circonférence était effectuée trois fois. Une moyenne des trois mesures était ensuite calculée. Les mesures anthropométriques seront basées selon les normes de Norton & Olds. La taille et le poids du sujet ont été mesurés pour définir l'IMC du sujet. L'IMC se calcule comme suit : $\text{poids (kg)} / \text{taille (m}^2\text{)}$.

Dépense énergétique

Le brassard portable (HealthWear bodymedia, Pittsburgh, PA) utilise un accéléromètre à 2 axes, un détecteur de variation de chaleur, un détecteur de réponse électrique de la peau, un détecteur de température de la peau et un détecteur de température ambiante près du corps pour saisir les données. Les données comme le poids corporel, la taille, la main dominante et le fait que le sujet soit fumeur ou non-fumeur sont utilisées pour calculer la dépense énergétique. Le brassard a été installé sur la partie supérieure du bras droit (sur le triceps et au milieu de l'humérus) de chaque volontaire. Tous les sujets ont reçu les indications d'enlever le brassard seulement pour prendre un bain ou toute autre activité aquatique.

Consommation maximale d'oxygène (VO₂peak)

La consommation d'oxygène maximale (VO_{2 peak}) a été mesurée à l'aide d'un exercice progressif effectué sur un ergocycle Ergoline 900 (Bitz, Allemagne) jusqu'à épuisement. Le test débute avec une résistance de 25 Watts et la résistance du vélo augmentera de 25 Watts toutes les deux minutes. Le VO_{2 peak} correspond à la plus haute valeur obtenue durant le test. Les gaz expirés durant le test ont été mesurés à l'aide d'un appareil d'ergospirométrie Ergocard (version 6, MediSoft, Dinant, Belgique).

Pression artérielle

Les pressions systoliques et diastoliques ont été déterminées par la moyenne des trois lectures avec une minute entre les lectures avec une machine automatique Dinamap[®] (Critikon, a Johnson & Johnson Co., Tampa, FL). La participante ne devait pas parler durant la prise de la pression artérielle.

Profil psychosocial

Les sujets devront remplir un questionnaire mesurant le stress perçu (Cohen et al. Perceived stress Scale), l'estime de soi (Rosenberg Self-Esteem Scale), les risques perçus de développer des maladies cardiovasculaires et le diabète (échelle composée de 2 items, développés selon le Health Belief Model et la qualité de vie (Medical Outcome Study General Health Survey) pour la capacité fonctionnelle (6 items), la santé mentale (5 items), la perception de la santé (5 items), la capacité sociale (1 item) et la douleur (1 item). Notez qu'une étude a montrée une relation entre les facteurs psychosociaux et la force musculaire [45].

Choix des marqueurs métaboliques

Nous avons choisi plusieurs marqueurs métaboliques car nous voulions avoir un profil métabolique complet des sujets. Nous ne voulions pas nous limiter aux quelques marqueurs métaboliques plus traditionnelles (profil lipidique, glucose, insuline) mais bien nous donner un portrait global du profil métabolique. En faisant ainsi, nous croyons avoir tous les outils pour être en mesure de répondre à notre problématique. Tous les marqueurs métabolique choisis dans notre étude sont associés avec des maladies cardiovasculaires ou le diabète de type 2, ce qui augmente l'importance de les inclure dans notre étude. De plus, la majorité des marqueurs métaboliques sont mesurés d'une façon routinière dans notre laboratoire. Finalement, plusieurs marqueurs métaboliques sont mesurés avec une grande précision (DEXA, bilan sanguin, VO₂ peak, dépense énergétique).

3.3 Analyse statistique et taille de l'échantillon

Le test de Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour normaliser la distribution des variables non normalement distribuées. Le coefficient de corrélation de Spearman a été utilisé pour examiner l'association entre les variables (ex. masse grasse, masse maigre, CRP, profil lipidique, dépense énergétique, force musculaire et sensibilité à l'insuline). Par après, ces variables ont été utilisées dans une analyse de régression linéaire multiple pour déterminer si la force musculaire, exprimée de différentes méthodes, peut prédire indépendamment plusieurs facteurs métaboliques. L'objectif de ces analyses était de déterminer quelles sont les variables métaboliques qui sont le plus fortement liées à la force

musculaire. De plus, une analyse de la variance en mesure répétée (ANOVA) a été utilisée pour détecter les changements au niveau de la force musculaire, du poids corporel, de la masse grasse et de la masse maigre pour le groupe d'entraînement (avant et après la période d'entraînement). L'échantillonnage était basé sur les différences dans le changement de force musculaire, car il y a de grandes variations dans la littérature. La taille de l'échantillon a été calculée en utilisant le logiciel statistique « Jump Package ». Quinze participantes dans le groupe entraînement produisent une puissance de 80% pour déceler des différences de force musculaire entre les groupes de 13.6 ± 13.6 kg [46].

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

Les caractéristiques physiques des 41 femmes obèses post-ménopausées montrent un large éventail en ce qui a trait au poids corporel, à la masse grasse, au pourcentage de masse grasse, à la masse maigre, à la masse osseuse ainsi qu'à la densité osseuse (**Tableau 2**). Pour ce qui est des caractéristiques métaboliques, nous retrouvons également de larges écarts pour la glycémie et l'insuline au temps 120 ainsi que pour l'ALT (**Tableau 3**). Le **tableau 4** montre les caractéristiques cardiorespiratoires et la force musculaire.

Les corrélations des neuf différentes manières d'exprimer la force musculaire entre elles sont présentées dans le **tableau 5**. On remarque que l'écart des coefficients varie entre 0.47 et 0.85. C'est lorsque la force musculaire est exprimée en kg/kg de poids corporel et en kg/kg de masse maigre que la force musculaire est le plus souvent corrélée. D'ailleurs, nous n'avons pas été en mesure de trouver des corrélations significatives entre toutes les différentes manières d'exprimer la force musculaire.

Le **tableau 6** présente les neuf manières d'exprimer la force musculaire avec diverses caractéristiques physiques et métaboliques. Nous résumons brièvement certaines de ces corrélations avec diverses caractéristiques physiques et métaboliques. En ce qui concerne la composition corporelle, un large écart de corrélations est observé avec tous les indices de force musculaire ($r = 0.31 - 0.67$). Par exemple, la force musculaire est corrélée avec au moins quatre des neuf manières de l'exprimer pour les variables suivantes : poids, masse maigre (une positive et trois négatives) et masse osseuse. Par contre, il y avait cinq indices de force musculaire qui n'étaient pas corrélés avec la masse maigre. En ce qui concerne le profil sanguin, un large écart de corrélations est observé avec tous les indices de force musculaire ($r = 0.32 - 0.60$). Parmi les variables qui sont corrélées avec deux ou trois manières d'exprimer la force musculaire, nous retrouvons : le glucose T0, le glucose T120, l'ApoB (une positive et une négative) et l'ALT. Cependant, aucune corrélation n'a été observée entre la pression artérielle systolique, HDL, CRP et triglycérides avec tous les indices de force musculaire. Pour ce qui est du profil psychosocial, deux ou trois corrélations significatives ont été observées pour le poids maximum, le sommeil et le nombre d'heures de télévision ou d'ordinateur et une corrélation seulement a été observée avec l'estime de soi et la perception de la santé avec les indices de force musculaire. Pour le VO_{2peak} des corrélations avec les indices de force musculaire entre le VO_{2peak} (L/min) (une négative et une positive), le VO_{2peak} (ml/kg/min) et le VO_{2peak} (ml/kg MM/min) ont été observées.

Nous avons effectué une analyse de régression linéaire pour identifier les variables indépendantes qui prédisent la force musculaire. Les variables indépendantes qui ont été prises en considération dans

l'équation étaient : circonférence de taille, masse grasse, masse maigre, densité osseuse, masse osseuse, VO_{2peak} , glucose T120, HOMA, sommeil, télé/ordi, score Rosenberg et score perception de la santé. Les résultats de la régression linéaire sont présentés dans le **tableau 7**. Lorsque la force musculaire est évaluée avec le dynamomètre manuel, nous remarquons que la densité osseuse et le VO_{2peak} prédisent la force musculaire lorsqu'elle est exprimée en kg. La masse grasse, la masse osseuse et le VO_{2peak} prédit la force musculaire lorsqu'elle est exprimée en kg/kg de poids corporel tandis que la masse maigre, la masse osseuse et le VO_{2peak} prédit la force musculaire lorsqu'elle est exprimée en kg/kg de masse maigre. Lorsque la force musculaire est évaluée avec les appareils de musculation, nous remarquons que la masse osseuse est un prédicteur de la force musculaire quand elle est exprimée en kg et également lorsqu'elle est exprimée en kg/kg de masse maigre. Nous remarquons de plus que la force musculaire exprimée en Joules est prédite par l'indice HOMA. Finalement, nous n'avons trouvé aucun prédicteur de force musculaire lorsque la force musculaire était exprimée en kg/kg de poids corporel, en Joules/kg de poids corporel ainsi qu'en Joules/kg de masse maigre.

Des 41 sujets, 15 avaient complété le programme d'entraînement en musculation. Aucun changement significatif avec le poids (pré : 85.9 ± 8.8 kg, post : 86.1 ± 8.7 kg) et masse grasse (pré : 39.8 ± 6.9 kg, post : 39.3 ± 6.8 kg) n'a été observé suite à la période d'entraînement. Par contre, la masse maigre a augmenté de manière significative (pré : 43.5 ± 4.2 kg, post : 44.3 ± 4.4 kg; $P = 0.043$). Le **tableau 8** montre les pourcentages de changements pour les 9 différentes manières d'exprimer la force musculaire après un entraînement en musculation. Tout d'abord, nous observons qu'il n'y a aucun changement de force musculaire après l'intervention lorsque la force musculaire est évaluée avec un dynamomètre manuel (écart de -1.9 à -0.26 %). De plus, il y a une différence significative entre les trois manières d'exprimer la force musculaire avec le dynamomètre manuel et les six manières avec les appareils de musculation.

Pour la force musculaire évaluée avec les appareils de musculation, les écarts de changements de force musculaire ont varié entre 14.7 et 23.3%. Des différences significatives sont observées lorsque la force musculaire est exprimée en kg par rapport au kg/kg de masse maigre, Joules et Joules/kg de poids corporel ($p < 0.05$). Quand la force musculaire est exprimée en kg/kg de poids corporel, il y a une différence significative par rapport au Joule et au Joules/kg de poids corporel ($P < 0.05$). Lorsque la force musculaire est exprimée en kg/kg de masse maigre, nous remarquons une différence significative avec les expressions de force musculaire suivantes : kg, Joules, Joules/kg de poids corporel et Joules/kg de masse maigre. Nous retrouvons également des différences significatives entre les Joules et toutes les autres formes d'expression de la force musculaire sauf Joules/kg de poids corporel. De plus, lorsque la force musculaire est exprimée en Joules/kg de poids, il y a une différence significative par rapport à toutes les

formes d'expression sauf Joules et Joules/kg de masse maigre. Finalement, en Joules/kg de masse maigre, nous observons une différence significative par rapport au kg/kg de masse maigre et aux Joules.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

L'évaluation de la force musculaire n'est présentement pas standardisée. En général, lorsqu'il y a évaluation de la force musculaire avant et à la suite d'une période d'entraînement, les tests diffèrent beaucoup d'un auteur à l'autre. Cette variation dans les résultats finaux pourrait, à tort, amener différentes conclusions et biais dans l'interprétation des données. De plus, plusieurs auteurs ont mis en relation la force musculaire et les complications métaboliques. Par contre, puisque la méthode d'évaluation ainsi que la façon d'exprimer la force musculaire ne sont pas les mêmes chez chaque auteur, nous ne sommes pas en mesure de connaître la relation « réelle » entre la force musculaire et les complications métaboliques. Donc, selon la méthode utilisée ou la façon d'exprimer la force musculaire, les résultats finaux peuvent varier considérablement. Néanmoins, à ce jour, aucune étude n'a comparé les résultats obtenus (e.g. valeur absolue vs valeur relative) à travers les différentes méthodes évaluant la force musculaire après un programme d'exercice en musculation avec une population cible.

Les objectifs de cette étude étaient de comparer la relation entre les différentes méthodes et expressions de la force musculaire avec les facteurs de risques métaboliques. Nous présumons que la relation entre les méthodes et expressions de la force musculaire avec les facteurs de risques métaboliques diffèrera selon la méthode et la façon de l'exprimer. Le deuxième objectif était de comparer les changements de la force musculaire en utilisant différentes méthodes et expressions avant et après un entraînement en musculation. Nous présumons qu'après un entraînement en musculation, le niveau de force musculaire diffère selon les méthodes d'évaluation et la façon d'exprimer la force.

Les résultats de cette étude démontrent que chez les femmes obèses post-ménopausées, les différents indices de force musculaire sont différemment associés avec les facteurs de risques métaboliques. Par exemple, on constate que la masse grasse est corrélée avec la force musculaire lorsqu'elle est exprimée en kg/kg de poids corporel sur les appareils de musculation et avec le dynamomètre manuel. Il y a cependant aucune autre corrélation entre la force musculaire et la masse grasse lorsque nous exprimons la force musculaire d'une autre façon. Lorsque la force musculaire est mise en relation avec le VO_{2peak} , nous voyons qu'il y a une corrélation seulement si la force musculaire est exprimée en kg/kg de masse maigre avec les appareils de musculation ou en kg lorsqu'évaluée avec le dynamomètre manuel. Aucune autre façon d'exprimer la force musculaire ne nous permet d'observer une relation significative entre le VO_{2peak} et la force musculaire.

Par la suite, nous remarquons que selon les différentes méthodes d'exprimer la force musculaire, les corrélations avec les diverses variables physiques et métaboliques peuvent être soit positives ou soit

négligentes, et ce, pour une même variable. Par exemple, il y a cinq méthodes d'exprimer la force musculaire qui sont corrélées avec le poids. De ces cinq indices de force musculaire, seul celui exprimé en Joules avec les machines de musculation est positif, tous les autres étant négatifs. Nous constatons la même chose avec la masse maigre où trois des quatre indices de force musculaire sont corrélés négativement, le seul positif étant le kg/kg de masse maigre évalué sur machine de musculation. Finalement, nous avons le VO_{2peak} (L/min) qui se trouve dans une situation semblable. En effet, la relation avec la force musculaire est négative lorsqu'exprimée en kg/kg de masse maigre avec les appareils de musculation, mais positives lorsqu'exprimée en kg avec le dynamomètre.

Ensuite, nous voyons que les prédictors des indices de force musculaire ne sont pas les mêmes selon la façon d'exprimer la force musculaire. Tout d'abord, avec le dynamomètre, la densité osseuse et le VO_{2peak} ont prédit la force musculaire lorsque celle-ci est exprimée en kg. Par contre, la masse osseuse et le VO_{2peak} ont prédit la force musculaire quand elle est exprimée en kg/kg de poids corporel. Avec les appareils de musculation, des différences entre les prédictors de force musculaire sont également observées. Par exemple, la masse osseuse prédit la force musculaire lorsqu'elle est exprimée en kg et en kg/kg de masse maigre tandis que l'indice HOMA prédit la force musculaire en Joules. Il faut noter que nous n'avons trouvé aucun prédictor pour les indices de force en kg/kg de poids corporel, Joules/kg de poids corporel et en Joules/kg de masse maigre.

Les résultats de notre étude abondent dans le même sens avec les résultats d'autres auteurs, où ils ont montré qu'il y avait différentes corrélations entre la force musculaire et les facteurs de risques métaboliques (e.g. inflammation, résistance à l'insuline) lorsque la force musculaire est mesurée et exprimée de différentes façons [37, 38].

Finalement, on constate qu'il y a également des variations dans les pourcentages de changements de force musculaire. Par exemple, on remarque une augmentation de 14,7% et de 23,3% lorsque la force est exprimée respectivement en kg/kg de masse maigre et en Joules. Nous voyons aussi qu'en exprimant la force musculaire en kg/kg de poids corporel, l'augmentation est de 16,3% tandis qu'en l'exprimant en Joules/kg de poids corporel, l'augmentation est de 22,9%. De plus, suite aux résultats obtenus avec le dynamomètre manuel, nous pouvons conclure que cette méthode n'est pas sensible pour détecter les changements de force musculaire suite à une période d'entraînement en musculation.

Il est important de noter qu'il n'est pas dans nos intentions de proposer qu'un indice de force musculaire soit supérieur à un autre. Il serait plus juste d'affirmer qu'en comparant différents indices de force musculaire avec différents facteurs de risques métaboliques, il est possible que les données deviennent difficiles à interpréter et puissent même amener des résultats biaisés. Par contre, nous suggérons, à la lumière de nos résultats, que les appareils de musculation soient un moyen plus efficace pour évaluer la force musculaire suite à une période d'entraînement. De plus, puisque la production de

force provient des muscles squelettiques, nous avons cru bon de normaliser avec la masse maigre des sujets. En dernier lieu, l'amplitude devrait également être prise en considération sachant qu'une plus grande amplitude se reflète par un plus grand travail. En se fiant aux présents résultats, les chercheurs devraient être prudents dans le choix des méthodes et de l'expression de la force musculaire lors d'études épidémiologiques et d'études cliniques.

Cette étude comporte plusieurs limites. Tout d'abord, notre échantillon de sujets était composé uniquement de femmes obèses sédentaires post-ménopausées et non diabétiques. Nos résultats seront donc limités à cette population. Deuxièmement, nous avons des critères d'inclusions et d'exclusions qui reflètent strictement notre population. Ensuite, nous avons utilisé une approche transversale, qui nous ne nous permettra pas de conclure à un rapport de cause à effet entre la force musculaire et des variables métaboliques. Malgré ces limites, nos résultats seront renforcés par l'utilisation de techniques de référence (ex. DEXA, calorimétrie indirecte) dans une population bien caractérisée. Finalement, les résultats de cette étude doivent être considérés comme étant préliminaires, mais nous espérons qu'ils seront en mesure de stimuler l'intérêt et le besoin d'une plus grande précision dans la caractérisation des participants dans les protocoles de recherche.

CHAPITRE 6

CONCLUSION

En conclusion, la présente étude nous indique que les corrélations, les prédicteurs ainsi que les changements de la force musculaire exprimée de différentes façons varient d'une façon importante avec les facteurs de risques métaboliques. Par conséquent, les conclusions ou interprétations des relations peuvent diverger dans la littérature. D'autres études devront examiner la relation entre la force musculaire et les facteurs de risques métaboliques de façon longitudinale suite à une intervention en musculation.

RÉFÉRENCES

1. *American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults.* Med Sci Sports Exerc, 2009. **41**(3): p. 687-708.
2. Vincent, K.R., R.W. Braith, R.A. Feldman, P.M. Magyari, R.B. Cutler, S.A. Persin, S.L. Lennon, A.H. Gabr, and D.T. Lowenthal, *Resistance exercise and physical performance in adults aged 60 to 83.* J Am Geriatr Soc, 2002. **50**(6): p. 1100-7.
3. Nelson, M.E., W.J. Rejeski, S.N. Blair, P.W. Duncan, J.O. Judge, A.C. King, C.A. Macera, and C. Castaneda-Sceppa, *Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association.* Med Sci Sports Exerc, 2007. **39**(8): p. 1435-45.
4. McArdle, W.D., Katch, Frank I., Katch, Victor L. , *Exercise physiology energy, nutrition, and human performance*, ed. 8. 2010, New York: Lippincott Williams and Wilkins.
5. Gale, C.R., C.N. Martyn, C. Cooper, and A.A. Sayer, *Grip strength, body composition, and mortality.* Int J Epidemiol, 2007. **36**(1): p. 228-35.
6. Jurca, R., M.J. Lamonte, T.S. Church, C.P. Earnest, S.J. Fitzgerald, C.E. Barlow, A.N. Jordan, J.B. Kampert, and S.N. Blair, *Associations of muscle strength and fitness with metabolic syndrome in men.* Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**(8): p. 1301-7.
7. Castaneda, C., J.E. Layne, L. Munoz-Orians, P.L. Gordon, J. Walsmith, M. Foldvari, R. Roubenoff, K.L. Tucker, and M.E. Nelson, *A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2 diabetes.* Diabetes Care, 2002. **25**(12): p. 2335-41.

8. Dunstan, D.W., R.M. Daly, N. Owen, D. Jolley, M. De Courten, J. Shaw, and P. Zimmet, *High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes*. *Diabetes Care*, 2002. **25**(10): p. 1729-36.
9. Elliott, K.J., C. Sale, and N.T. Cable, *Effects of resistance training and detraining on muscle strength and blood lipid profiles in postmenopausal women*. *Br J Sports Med*, 2002. **36**(5): p. 340-4.
10. De Rekeneire, N., H.E. Resnick, A.V. Schwartz, R.I. Shorr, L.H. Kuller, E.M. Simonsick, B. Vellas, and T.B. Harris, *Diabetes is associated with subclinical functional limitation in nondisabled older individuals: the Health, Aging, and Body Composition study*. *Diabetes Care*, 2003. **26**(12): p. 3257-63.
11. Seguin, R. and M.E. Nelson, *The benefits of strength training for older adults*. *Am J Prev Med*, 2003. **25**(3 Suppl 2): p. 141-9.
12. Dey, D.K., I. Bosaeus, L. Lissner, and B. Steen, *Changes in body composition and its relation to muscle strength in 75-year-old men and women: a 5-year prospective follow-up study of the NORA cohort in Goteborg, Sweden*. *Nutrition*, 2009. **25**(6): p. 613-9.
13. Treuth, M.S., A.S. Ryan, R.E. Pratley, M.A. Rubin, J.P. Miller, B.J. Nicklas, J. Sorkin, S.M. Harman, A.P. Goldberg, and B.F. Hurley, *Effects of strength training on total and regional body composition in older men*. *J Appl Physiol*, 1994. **77**(2): p. 614-20.
14. Foldvari, M., M. Clark, L.C. Laviolette, M.A. Bernstein, D. Kaliton, C. Castaneda, C.T. Pu, J.M. Hausdorff, R.A. Fielding, and M.A. Singh, *Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000. **55**(4): p. M192-9.

15. Ibanez, J., M. Izquierdo, I. Arguelles, L. Forga, J.L. Larrion, M. Garcia-Unciti, F. Idoate, and E.M. Gorostiaga, *Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes*. Diabetes Care, 2005. **28**(3): p. 662-7.
16. Andersen, J.L., P. Schjerling, L.L. Andersen, and F. Dela, *Resistance training and insulin action in humans: effects of de-training*. J Physiol, 2003. **551**(Pt 3): p. 1049-58.
17. Miller, J.P., R.E. Pratley, A.P. Goldberg, P. Gordon, M. Rubin, M.S. Treuth, A.S. Ryan, and B.F. Hurley, *Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men*. J Appl Physiol, 1994. **77**(3): p. 1122-7.
18. Vincent, K.R., R.W. Braith, R.A. Feldman, H.E. Kallas, and D.T. Lowenthal, *Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women*. Arch Intern Med, 2002. **162**(6): p. 673-8.
19. Layne, J.E. and M.E. Nelson, *The effects of progressive resistance training on bone density: a review*. Med Sci Sports Exerc, 1999. **31**(1): p. 25-30.
20. Cauza, E., U. Hanusch-Enserer, B. Strasser, B. Ludvik, S. Metz-Schimmerl, G. Pacini, O. Wagner, P. Georg, R. Prager, K. Kostner, A. Dunky, and P. Haber, *The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus*. Arch Phys Med Rehabil, 2005. **86**(8): p. 1527-33.
21. Honkola, A., T. Forsen, and J. Eriksson, *Resistance training improves the metabolic profile in individuals with type 2 diabetes*. Acta Diabetol, 1997. **34**(4): p. 245-8.
22. Kelley, G.A. and K.S. Kelley, *Impact of progressive resistance training on lipids and lipoproteins in adults: a meta-analysis of randomized controlled trials*. Prev Med, 2009. **48**(1): p. 9-19.

23. Braith, R.W. and K.J. Stewart, *Resistance exercise training: its role in the prevention of cardiovascular disease*. *Circulation*, 2006. **113**(22): p. 2642-50.
24. Newman, A.B., V. Kupelian, M. Visser, E.M. Simonsick, B.H. Goodpaster, S.B. Kritchevsky, F.A. Tylavsky, S.M. Rubin, and T.B. Harris, *Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2006. **61**(1): p. 72-7.
25. Al Snih, S., K.S. Markides, L. Ray, G.V. Ostir, and J.S. Goodwin, *Handgrip strength and mortality in older Mexican Americans*. *J Am Geriatr Soc*, 2002. **50**(7): p. 1250-6.
26. Rantanen, T., S. Volpato, L. Ferrucci, E. Heikkinen, L.P. Fried, and J.M. Guralnik, *Handgrip strength and cause-specific and total mortality in older disabled women: exploring the mechanism*. *J Am Geriatr Soc*, 2003. **51**(5): p. 636-41.
27. Rantanen, T., T. Harris, S.G. Leveille, M. Visser, D. Foley, K. Masaki, and J.M. Guralnik, *Muscle strength and body mass index as long-term predictors of mortality in initially healthy men*. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000. **55**(3): p. M168-73.
28. Atlantis, E., S.A. Martin, M.T. Haren, A.W. Taylor, and G.A. Wittert, *Inverse associations between muscle mass, strength, and the metabolic syndrome*. *Metabolism*, 2009. **58**(7): p. 1013-22.
29. Miyatake, N., J. Wada, T. Saito, H. Nishikawa, S. Matsumoto, M. Miyachi, H. Makino, and T. Numata, *Comparison of muscle strength between Japanese men with and without metabolic syndrome*. *Acta Med Okayama*, 2007. **61**(2): p. 99-102.
30. Karelis, A.D., B. Tousignant, J. Nantel, M. Proteau-Labelle, F.M. Malita, D.H. St-Pierre, M. Brochu, E. Doucet, and R. Rabasa-Lhoret, *Association of insulin sensitivity and*

- muscle strength in overweight and obese sedentary postmenopausal women.* Appl Physiol Nutr Metab, 2007. **32**(2): p. 297-301.
31. Brochu, M., M.E. Mathieu, A.D. Karelis, E. Doucet, M.E. Lavoie, D. Garrel, and R. Rabasa-Lhoret, *Contribution of the lean body mass to insulin resistance in postmenopausal women with visceral obesity: a Monet study.* Obesity (Silver Spring), 2008. **16**(5): p. 1085-93.
 32. Ryan, A.S., R.E. Pratley, A.P. Goldberg, and D. Elahi, *Resistive training increases insulin action in postmenopausal women.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1996. **51**(5): p. M199-205.
 33. Ryan, A.S., M.S. Treuth, M.A. Rubin, J.P. Miller, B.J. Nicklas, D.M. Landis, R.E. Pratley, C.R. Libanati, C.M. Gundberg, and B.F. Hurley, *Effects of strength training on bone mineral density: hormonal and bone turnover relationships.* J Appl Physiol, 1994. **77**(4): p. 1678-84.
 34. Izquierdo, M., K. Hakkinen, J. Ibanez, M. Garrues, A. Anton, A. Zuniga, J.L. Larrion, and E.M. Gorostiaga, *Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men.* J Appl Physiol, 2001. **90**(4): p. 1497-507.
 35. Reid, M.B. and Y.P. Li, *Tumor necrosis factor-alpha and muscle wasting: a cellular perspective.* Respir Res, 2001. **2**(5): p. 269-72.
 36. Li, Y.P. and M.B. Reid, *NF-kappaB mediates the protein loss induced by TNF-alpha in differentiated skeletal muscle myotubes.* Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2000. **279**(4): p. R1165-70.
 37. Schaap, L.A., S.M. Pluijm, D.J. Deeg, T.B. Harris, S.B. Kritchevsky, A.B. Newman, L.H. Colbert, M. Pahor, S.M. Rubin, F.A. Tyllavsky, and M. Visser, *Higher inflammatory*

- marker levels in older persons: associations with 5-year change in muscle mass and muscle strength.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2009. **64**(11): p. 1183-9.
38. Visser, M., M. Pahor, D.R. Taaffe, B.H. Goodpaster, E.M. Simonsick, A.B. Newman, M. Nevitt, and T.B. Harris, *Relationship of interleukin-6 and tumor necrosis factor-alpha with muscle mass and muscle strength in elderly men and women: the Health ABC Study.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2002. **57**(5): p. M326-32.
39. Barzilay, J.I., G.A. Cotsonis, J. Walston, A.V. Schwartz, S. Satterfield, I. Miljkovic, and T.B. Harris, *Insulin resistance is associated with decreased quadriceps muscle strength in nondiabetic adults aged ≥ 70 years.* Diabetes Care, 2009. **32**(4): p. 736-8.
40. Visser, J., E. Mans, M. de Visser, R.M. van den Berg-Vos, H. Franssen, J.M. de Jong, L.H. van den Berg, J.H. Wokke, and R.J. de Haan, *Comparison of maximal voluntary isometric contraction and hand-held dynamometry in measuring muscle strength of patients with progressive lower motor neuron syndrome.* Neuromuscul Disord, 2003. **13**(9): p. 744-50.
41. Hagerman, F.C., S.J. Walsh, R.S. Staron, R.S. Hikida, R.M. Gilders, T.F. Murray, K. Toma, and K.E. Ragg, *Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2000. **55**(7): p. B336-46.
42. Friedewald, W.T., R.I. Levy, and D.S. Fredrickson, *Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge.* Clin Chem, 1972. **18**(6): p. 499-502.

43. Matsuda, M. and R.A. DeFronzo, *Insulin sensitivity indices obtained from oral glucose tolerance testing: comparison with the euglycemic insulin clamp*. Diabetes Care, 1999. **22**(9): p. 1462-70.
44. Matthews, D.R., J.P. Hosker, A.S. Rudenski, B.A. Naylor, D.F. Treacher, and R.C. Turner, *Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man*. Diabetologia, 1985. **28**(7): p. 412-9.
45. Karelis, A.D., J. Fontaine, V. Messier, L. Messier, C. Blanchard, R. Rabasa-Lhoret, and I. Strychar, *Psychosocial correlates of cardiorespiratory fitness and muscle strength in overweight and obese post-menopausal women: a MONET study*. J Sports Sci, 2008. **26**(9): p. 935-40.
46. Davidson, L.E., R. Hudson, K. Kilpatrick, J.L. Kuk, K. McMillan, P.M. Janiszewski, S. Lee, M. Lam, and R. Ross, *Effects of exercise modality on insulin resistance and functional limitation in older adults: a randomized controlled trial*. Arch Intern Med, 2009. **169**(2): p. 122-31.

TABLEAUX

Tableau 1. Résultats de programmes d'entraînement en musculation

<i>Étude</i>	<i>Population</i>	<i>Durée</i>	<i>Protocole</i>	<i>Test de force</i>	<i>Période d'accoutumance</i>	<i>% d'amélioration de la force</i>
Ryan et al. (1996) (31)	13 femmes post-ménopausées entre 50 et 65 ans Groupe entraînement et perte de poids (n=6) Groupe entraînement seul (n=7)	16 semaines, 3 fois par semaine	Appareil Keiser, 14 exercices, 5RM, diminution de la résistance jusqu'à 15 répétitions	Dynamomètre, extension et flexion de la jambe, extension et flexion du coude, 30°/sec (Newton mètre)	Aucune	Flexion au coude : 47,1% Extension au coude : 15% Extension des jambes : 26,7% Flexion des jambes : 40,4%
Ryan et al. (1994) (32)	37 hommes entre 51 et 71 ans Groupe entraînement (n=21) Groupe contrôle (n=16)	16 semaines, 3 fois par semaine	Appareil Keiser, 14 exercices, 5RM, diminution de la résistance jusqu'à 15 répétitions	3RM sur appareil Keiser (kg)	4 séances	Développé des jambes: 37% Extension jambe: 43% Développé des bras: 28% Traction vertical des bras: 33% Développé militaire: 44%

Castaneda et al. (2002) (11)	Adulte d'origine latine atteint du diabète de type 2 de plus de 55 ans, 40 femmes, 22 hommes Groupe entraînement (n=31) Groupe contrôle (n=31)	16 semaines, 3 fois par semaine	Appareil Keiser, 5 exercices, 3 séries de 8 répétitions, augmentation progressive de l'intensité, intensité réduite aux semaines 9 et 15	1RM sur chaque appareil (2 tests) (kg)	Aucune	Augmentation de 33%
Cauza et al. (2007) (18)	Adultes atteints du diabète de type 2 entre 50 et 70 ans Groupe musculature : 11 hommes et 11 femmes Groupe endurance : 9 hommes et 8 femmes	4 mois, 3 fois par semaines	3 séries par muscle par semaine (jusqu'à 6 à la fin du programme). 10 exercices. Série de 10 à 15 répétitions. Augmentation de l'intensité lorsque le sujet fait plus de 15 répétitions	1RM sur développé couché, traction horizontale et développé des jambes (kg)	Aucune	Développé couché : 29% Développé des jambes: 48% Traction horizontale: 22%

Dunstan et al. (2002) (12)	36 hommes et femmes obèses, diabétiques entre 60 et 80 ans Groupe entraînement et perte de poids (RTWL) (n=19) Groupe perte de poids (WL) (n=17)	6 mois, 3 fois par semaine	3 séries de 8 à 10 répétitions, 9 exercices, augmentation progressive de la l'intensité	IRM sur développé couché et extension des jambes (kg)	2 séances	Haut du corps : 43,2% Bas du corps : 33,0%
Hagerman et al. (2000) (38)	22 hommes entre 60 et 75 ans Groupe contrôle (n=10) Groupe entraînement (n=12)	16 semaines, 2 fois par semaine	3 séries de 6 à 8 répétitions, 3 exercices, augmentation progressive de l'intensité	IRM sur extension des jambes, développé des jambes et demi- squat (kg)	Aucune	Extension des jambes : 50,4% Développé des jambes : 72,3% Demi-squat : 83,5%

Anderson et al. (2003) (14)	7 hommes	90 jours, 3 fois par semaine (38 séances)	4-5 séries de 6- 15 répétitions	Force isométrique quadriceps	Aucune	Force isométrique: 19%
Miller et al. (1994) (15)	11 hommes entre 50 et 65 ans non diabétiques	16 semaines, 3 fois par semaine	1 série de 15 répétitions (3 ou 4 premières répétitions avec 90% du 3RM)	3RM sur appareil Keiser, développé des jambes, extension des jambes, développé assis, traction verticale, traction horizontale, développé militaire (kg)	4 séances	Haut du corps : 64% Bas du corps : 40%

Tableau 2. Caractéristiques physique et psychosociale des femmes obèses post-ménopausées.

Femmes obèses post-ménopausées (n = 41)		
Caractéristiques	Moyenne ± ET	Étendue
Age (année)	59.3 ± 4.6	50 – 69
IMC (kg/m ²)	34.2 ± 3.4	28.1 – 42.6
Taille (m)	1.58 ± 0.05	1.47 – 1.69
Poids (kg)	85.6 ± 9.7	70.8 – 109.7
Masse grasse (kg)	40.6 ± 6.4	24.0 – 54.2
Masse grasse (%)	47.3 ± 3.8	33.8 – 54.5
Masse maigre (kg)	42.6 ± 4.9	34.6 – 53.9
Masse osseuse (kg)	2.47 ± 0.31	1.76 – 3.15
Densité osseuse (g/cm ²)	1.19 ± 0.09	0.99 – 1.35
Poids maximum (kg)	89.3 ± 10.9	75 - 124
Sommeil (heure)	7.0 ± 1.3	2.5 - 9
Télé/Ordi (heure)	26.4 ± 18.5	0 - 65
Rosenberg	31.1 ± 3.9	20 - 39
Perception santé	81.1 ± 11.1	52 - 100

Abréviations: IMC: Indice de masse corporelle

Tableau 3. Caractéristiques métabolique des femmes obèses post-ménopausées.

Femmes obèses post-ménopausées (n = 41)

Caractéristiques	Moyenne ± ET	Étendue
Pression artériel systolique	120.0 ± 11.9	91 – 151
Pression artériel diastolique	74.9 ± 7.0	61 – 91
Glucose T0 (mmol/L)	5.5 ± 0.5	4.5 – 6.6
Glucose T120 (mmol/L)	6.3 ± 1.2	3.4 – 9.2
Insuline T0 (µU/ml)	11.6 ± 5.6	2 – 24
Insuline T120 (µU/ml)	69.6 ± 43.8	4 – 208
Cholestérol total (mmol/L)	5.5 ± 0.7	4.0 – 7.2
HDL-cholestérol (mmol/L)	1.6 ± 0.3	1.1 – 2.3
Triglycérides (mmol/L)	1.3 ± 0.5	0.6 – 3.0
Protéine hsC-Reactive (mg/L)	2.9 ± 2.6	2.9 ± 2.6
ApoB (g/L)	0.9 ± 0.2	0.7 – 1.3
Hémoglobine (U/L)	134.2 ± 5.9	118 – 150
ALT (U/L)	24.8 ± 9.4	13 – 57
AST (U/L)	22.2 ± 5.5	15 – 37
Sensibilité à l'insuline :		
Matsuda	4.2 ± 2.8	1.0 – 14.6
HOMA	2.8 ± 1.4	0.4 – 6.1

Tableau 4. Caractéristiques cardiorespiratoire et de force musculaire des femmes obèses post-ménopausées.

Femmes obèses post-ménopausées (n = 41)		
Caractéristiques	Moyenne \pm ET	Étendue
VO _{2peak} (L/min)	1.45 \pm 0.23	1.07 – 1.96
VO _{2peak} (ml/kg/min)	17.3 \pm 3.2	12.2 – 25.1
VO _{2peak} (ml/kg masse maigre/min)	34.7 \pm 5.0	24.9 – 48.5
Dépense énergétique / jour (kcal)	2258 \pm 238	1812 – 2780
Force musculaire sur appareil (kg)	195.7 \pm 44.7	53.8 – 283.6
Force musculaire sur appareil (kg/kg poids)	2.3 \pm 0.6	0.7 – 3.4
Force musculaire sur appareil (kg/kg masse maigre)	4.6 \pm 1.2	1.3 – 7.7
Force musculaire sur appareil (J)	362 \pm 69	135 – 490
Force musculaire sur appareil (J/kg poids)	4.2 \pm 0.8	1.8 – 5.8
Force musculaire sur appareil (J/kg masse maigre)	8.4 \pm 1.6	3.3 – 11.6
Force musculaire dynamomètre (kg)	29.5 \pm 4.5	21 – 41
Force musculaire dynamomètre (kg/kg poids)	0.35 \pm 0.06	0.25 – 0.48
Force musculaire dynamomètre (kg/kg masse maigre)	0.70 \pm 0.11	0.47 – 0.96

Tableau 5. Corrélations bivariées entre les différentes méthodes d'évaluation de force musculaire

Appareils	Appareils de musculation						Dynamomètre		
	kg	kg/kg poids	kg/kg MM	J	J/kg poids	J/kg MM	kg	kg/kg poids	kg/kg MM
kg	0.82*	0.69*	0.16	0.16	0.39	0.30	0.37	0.35	0.26
kg/kg poids	0.82*	0.85*	-0.04	-0.04	0.58*	0.37	0.30	0.55*	0.48*
kg/kg MM	0.69*	0.85*	-0.07	-0.07	0.47*	0.58*	0.11	0.38	0.50*
J	0.16	-0.04	-0.07	-0.07	0.54*	0.51*	0.24	-0.12	-0.18
J/kg poids	0.39	0.56*	0.47*	0.54*	0.65*	0.65*	0.07	0.28	0.14
J/kg MM	0.30	0.37	0.58*	0.51*	0.65*		-0.04	0.01	0.24
Dynamomètre									
kg	0.37	0.30	0.11	0.24	0.07	-0.04		0.75*	0.75*
kg/kg poids	0.35	0.55*	0.38	-0.12	0.28	0.01	0.75*		0.91*
kg/kg MM	0.26	0.48*	0.50*	-0.18	0.14	0.24	0.75*	0.91*	

* $p < 0.05$

Tableau 6. Corrélations bivariées entre les différentes façons d'exprimer la force musculaire et diverses caractéristiques physiques et métaboliques.

	Appareil (n = 21)				Dynamomètre (n = 41)				
	kg	kg/kg poids	kg/kg MM	J	J/kg poids	J/kg MM	kg	kg/kg poids	kg/kg MM
IMC	-0.06	-0.42	-0.38	0.51*	-0.27	0.06	0.12	-0.39*	-0.28
Taille	0.12	-0.05	-0.11	0.18	-0.07	-0.14	0.11	-0.23	-0.23
Poids	-0.11	-0.52*	-0.45*	0.46*	-0.40	-0.13	0.10	-0.54*	-0.42*
Masse grasse	-0.14	-0.49*	-0.26	0.35	-0.44	0.01	0.04	-0.55*	-0.32*
% Masse grasse	-0.14	-0.14	0.19	0.01	-0.34	0.28	-0.13	-0.39*	-0.03
Masse maigre	-0.07	-0.41	0.66*	0.41	-0.21	-0.48*	0.21	-0.31*	-0.45*
Masse osseuse	0.67*	0.55*	0.58*	-0.09	0.05	0.17	0.32*	0.21	0.33*
Densité osseuse	0.60*	0.38	0.23	0.27	0.19	0.03	0.36*	0.14	0.10
PAS	0.14	0.14	-0.17	0.02	-0.14	-0.30	0.21	0.20	0.11
PAD	-0.18	-0.26	-0.24	0.21	-0.26	-0.13	0.33*	0.15	0.13
Glucose T0	0.16	0.17	0.19	0.51*	0.48*	0.38	0.27	0.07	0.06
Glucose T120	-0.19	-0.10	0.01	-0.07	0.15	0.01	-0.48*	-0.29	-0.32*

Insuline T0	0.22	-0.09	-0.01	0.56*	0.25	0.20	0.25	0.02	-0.02
Insuline T120	-0.19	-0.26	-0.21	0.60*	0.31	0.16	0.04	-0.10	-0.09
Cholestérol total	-0.34	-0.25	0.01	-0.01	-0.17	0.07	0.14	0.21	0.33*
HDL-Cholestérol	0.16	0.03	0.28	-0.16	0.07	0.16	-0.02	0.05	0.04
Triglycérides	-0.18	-0.12	0.11	0.39	0.07	0.24	0.04	0.12	0.21
CRP	0.06	-0.23	-0.13	0.20	-0.29	-0.05	0.06	-0.22	-0.14
ApoB	-0.53*	-0.27	-0.10	0.07	-0.05	0.23	0.15	0.22	0.39*
Hémoglobine	-0.17	-0.12	-0.09	0.50*	0.36	0.31	0.25	0.12	0.07
ALT	-0.19	0.01	0.21	0.56*	0.24	0.45*	0.28	0.14	0.16
AST	0.25	0.09	0.19	0.42	0.11	0.24	0.32*	0.27	0.23
Matsuda	-0.11	0.13	0.13	-0.56*	-0.33	-0.12	0.04	0.04	0.07
HOMA	0.18	-0.12	-0.02	0.59*	0.27	0.21	0.28	0.04	0.01
Poids maximum	0.04	-0.39	-0.44	0.42	-0.36	-0.18	0.10	-0.45*	-0.34*
Sommeil	-0.30	-0.36	-0.22	-0.03	-0.11	0.04	-0.35*	-0.38*	-0.33*
Télé/Ordi	-0.06	-0.48*	-0.61*	0.34	-0.11	-0.18	0.11	-0.12	-0.19

Rosenberg	0.55*	0.33	0.40	0.24	0.15	0.37	0.05	0.08	0.05
Perception santé	0.28	0.18	0.36	-0.47*	-0.40	-0.11	-0.19	-0.02	0.08
VO _{2peak} (L/min)	-0.17	-0.22	-0.52*	0.21	0.14	-0.38	0.42*	0.26	0.07
VO _{2peak} (ml/kg/min)	0.06	0.20	-0.08	0.02	0.45*	-0.11	0.23	0.49*	0.24
VO _{2peak} (ml/kg MM/min)	-0.08	0.09	-0.08	0.05	0.46*	0.05	0.21	0.39*	0.29

IMC: Indice de masse corporelle; PAS : Pression artérielle systolique; PAD : Pression artérielle diastolique; CRP : Protéine C-Réactive;

* P < 0.05

Tableau 7. Analyse de régression linéaire entre les prédicteurs de la force musculaire chez les femmes obèses post-ménopausées.

	Variable dépendante	Étape	Variable indépendante	r² Partiel	r² cumulatif	P value
dynamomètre		1	Densité osseuse	0.169	0.169	<0.05
	kg	2	VO _{2peak}	0.097	0.266	<0.05
		1	Masse grasse	0.312	0.312	<0.05
	kg/kg poids	2	Masse osseuse	0.101	0.413	<0.05
		3	VO _{2peak}	0.080	0.493	<0.05
		1	Masse maigre	0.161	0.161	<0.05
	kg/kg masse maigre	2	Masse osseuse	0.145	0.306	<0.05
		3	VO _{2peak}	0.112	0.418	<0.05
	kg	1	Masse osseuse	0.266	0.266	<0.05
	kg/kg poids			Aucun prédicteur		
appareils	kg/kg MM	1	Masse osseuse	0.235	0.235	<0.05
	Joules	1	HOMA	0.233	0.233	<0.05
	Joules/kg poids			Aucun prédicteur		
	Joules/kg MM			Aucun prédicteur		

Tableau 8 Caractéristiques physiques et métaboliques des femmes obèses post-ménopausées avant et après l'intervention

<i>Variables de force musculaire</i>	<i>Groupe entraînement (n = 15)</i>		
	Pré	Post	% changements
Appareils de musculation			
kg	198.2 ± 51.1	229.6 ± 55.4	16.6 ± 7.7 ¹
kg/kg poids	2.32 ± 0.64	2.69 ± 0.72	16.3 ± 6.4 ²
kg/kg masse maigre	4.59 ± 1.37	5.23 ± 1.45	14.7 ± 6.6 ³
J	350.4 ± 67.3	431.2 ± 83.8	23.3 ± 9.1 ⁴
J/kg poids	4.08 ± 0.75	5.03 ± 0.99	22.9 ± 10.1 ⁵
J/kg masse maigre	8.06 ± 1.47	9.78 ± 2.01	21.2 ± 10.6 ⁶
Dynamomètre			
kg	29.2 ± 3.4	29.1 ± 3.7	-0.26 ± 7.7*
kg/kg poids	0.34 ± 0.06	0.34 ± 0.06	-0.49 ± 7.5*
kg/kg masse maigre	0.68 ± 0.09	0.66 ± 0.08	-1.9 ± 7.9*

*Différence significative par rapport à toutes les expressions de la force musculaire évaluée sur les appareils (P <0.05)

1 Différence significative par rapport au kg /kg masse maigre, Joules et Joules/ kg poids (P<0.05)

2 Différence significative par rapport Joules et Joules/kg poids

3 Différence significative par rapport kg, Joules, Joules kg/poids, Joule/ kg mm

4 Différence significative par rapport à tout sauf Joules/kg poids

5 Différence significative par rapport à tout sauf Joules et Joules/kg MM

6 Différence significative par rapport kg/kg MM, Joules