

Université de Montréal

Effets de l'entraînement en résistance sur le regain de poids et l'inflammation chez  
des femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses

par

Virginie Messier

Département de Nutrition

Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de M.Sc.

en nutrition

Juillet 2009

© Virginie Messier, 2009

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Effets de l'entraînement en résistance sur le regain de poids et l'inflammation chez  
des femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses

présenté par  
Virginie Messier

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Marielle Ledoux

---

Président-rapporteur

Dr Rémi Rabasa-Lhoret

---

Directeur de recherche

Agnès Râkel

---

Membre du jury

## Résumé

**Objectifs:** Évaluer si un programme d'entraînement en résistance d'une durée d'un an prévient le regain de poids et majore l'amélioration du profil inflammatoire. Le second objectif de cette étude était de déterminer si la variation du tissu adipeux viscéral est associée aux changements dans les concentrations sanguines des marqueurs inflammatoires.

**Méthodes:** Soixante-dix femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses ont été randomisées dans un des deux groupes suivants : (1) Contrôle ou (2) Entraînement en résistance. La composition corporelle (absorptiométrie double à rayons X et tomographie axiale) et les marqueurs inflammatoires (protéine C-réactive, orosomucoïde, haptoglobine) ont été évalués avant et après la période de suivi d'une durée d'un an.

**Résultats:** Suite à la période de suivi, un regain significatif de poids corporel et de masse grasse était observé dans le groupe contrôle et le groupe entraînement en résistance ( $p < 0,05$ ). Une réduction des concentrations sériques de l'orosomucoïde et une hausse des niveaux sériques de l'haptoglobine étaient également notées dans les deux groupes ( $p < 0,05$ ). La variation du tissu adipeux viscéral était seulement associée aux changements dans les concentrations sériques de la protéine C-réactive ( $r = 0,373, p < 0,05$ ).

**Conclusion:** Nos résultats suggèrent que l'entraînement en résistance ne prévient pas le regain de poids corporel et ne majore pas l'amélioration du profil inflammatoire chez des femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses. De plus, nos résultats indiquent que la variation du tissu adipeux viscéral ne semble pas être un facteur clé impliqué dans les changements des concentrations sanguines des marqueurs inflammatoires.

**Mots clés:** entraînement en résistance, regain de poids, obésité, femmes post-ménopausées

## Abstract

**Objectives:** To evaluate if a 1-year resistance training program improved weight loss maintenance and the inflammatory profile in overweight and obese postmenopausal women. The second objective of this study was to determine if the variation in visceral adipose tissue was associated with the changes in inflammatory markers concentrations.

**Methods:** Seventy overweight and obese postmenopausal women were randomized to a control group or a resistance training group. Body composition (dual energy X-ray absorptiometry and computed tomography) and inflammatory markers (C-reactive protein, orosomucoid, haptoglobin) were measured before and after the 1-year weight loss maintenance intervention.

**Results:** Following the weight loss maintenance intervention, we observed a significant body weight and fat mass regain in the control group and the resistance training group ( $p < 0.05$ ). Significant reductions in orosomucoid and increases in haptoglobin concentrations were noted in both groups ( $p < 0.05$ ). The variation in visceral adipose tissue was only associated with the changes in C-reactive protein concentrations ( $r = 0,373, p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Our results suggest that resistance training do not improve weight loss maintenance and the inflammatory profile in overweight and obese postmenopausal women. Moreover, our results indicate that the variation in visceral adipose tissue may not be a key factor implicated in the changes in inflammatory markers concentrations.

**Key words:** resistance training, weight loss maintenance, obesity, postmenopausal women

## Table des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Le problème du regain de poids .....</b>	<b>5</b>
1.1. Interventions et perte de poids à long terme .....	6
1.2. Rôle de l'exercice dans la prévention du regain de poids .....	8
1.3. Rôle du maintien des changements dans les habitudes alimentaires et du support social dans la prévention du regain de poids .....	17
1.4. Caractérisation des individus ayant réussi à maintenir leur perte de poids .....	21
<b>Chapitre 2 : Obésité et inflammation .....</b>	<b>27</b>
2.1. Distribution du tissu adipeux et inflammation .....	27
2.2. Exercice et inflammation .....	29
<b>Chapitre 3 : Bénéfices de l'entraînement en résistance .....</b>	<b>34</b>
3.1. Entraînement en résistance, composition corporelle et force musculaire .....	34
3.2. Entraînement en résistance et dépense énergétique .....	37
3.3. Entraînement en résistance et profil métabolique .....	40
3.4. Recommandations pour l'entraînement en résistance .....	42
<b>Chapitre 4 : Objectifs de l'étude .....</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre 5 : Hypothèses .....</b>	<b>44</b>
<b>Chapitre 6 : Méthodologie .....</b>	<b>45</b>
6.1. Critères d'inclusion .....	45
6.2. Sujets .....	46
6.3. Entraînement en résistance .....	49
6.4. Variables .....	49
6.5. Analyses statistiques .....	50
<b>Chapitre 7 : Article .....</b>	<b>51</b>
<b>Chapitre 8 : Résultats .....</b>	<b>71</b>
8.1. Taux d'abandon de l'intervention .....	71
8.2. Taux d'adhésion au programme d'entraînement .....	71
8.3. Changement dans la composition corporelle suite à l'intervention .....	72

8.4. Changement dans les marqueurs inflammatoires suite à l'intervention .....	74
8.5. Relation entre la variation du tissu adipeux viscéral et les concentrations sériques des marqueurs inflammatoires .....	74
<b>Chapitre 9 : Discussion .....</b>	<b>76</b>
9.1. Analyse des résultats .....	76
9.2. Forces et limites de l'étude .....	81
<b>Conclusion .....</b>	<b>83</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>84</b>

**Liste des tableaux**

<b>Tableau 1</b>	Les six activités physiques les plus fréquemment rapportées par les membres du NWCR .....	23
<b>Tableau 2</b>	Facteurs associés avec le maintien de la perte de poids et le regain de poids .....	26
<b>Tableau 3</b>	Changement dans la composition corporelle suite à l'intervention .....	73
<b>Tableau 4</b>	Changement dans les marqueurs inflammatoires suite à l'intervention .....	74
<b>Tableau 5</b>	Relation entre la variation du tissu adipeux viscéral et les marqueurs inflammatoires .....	75

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Prévalence de l'obésité chez les adultes au Canada en 1985 et en 2005 .....	2
<b>Figure 2</b>	Prévalence de l'obésité et du diabète aux États-Unis en 1991 et 2001 .....	3
<b>Figure 3</b>	Perte de poids selon le type d'intervention .....	7
<b>Figure 4</b>	Évolution du poids corporel lors de la thérapie comportementale et le programme de mise en forme .....	13
<b>Figure 5</b>	Regain de poids selon les catégories d'exercice chez des femmes obèses .....	14
<b>Figure 6</b>	Changement de poids en kilogrammes du mois 0 au mois 6, 12, et 18 des participants ayant complété l'étude .....	21
<b>Figure 7</b>	Effet du changement des niveaux d'activité physique et du nombre d'heures de télévision sur le regain de poids .....	24
<b>Figure 8</b>	Effet du changement de l'apport calorique provenant des matières grasses et du nombre d'heures de télévision sur le regain de poids .....	25
<b>Figure 9</b>	Représentation de l'inflammation sub-clinique .....	27
<b>Figure 10</b>	Image d'une coupe de l'abdomen au niveau de la vertèbre L4 ...	29
<b>Figure 11</b>	Concentration de la CRP selon les quartiles d'activité physique .....	30
<b>Figure 12</b>	Effets potentiels de l'entraînement en résistance .....	35
<b>Figure 13</b>	Composantes de la dépense énergétique totale avant et après 26 semaines d'entraînement en résistance .....	39
<b>Figure 14</b>	Schéma du recrutement de l'étude .....	47
<b>Figure 15</b>	Structure de l'étude .....	48
<b>Figure 16</b>	Changement dans le poids corporel des 54 sujets ayant complété l'étude .....	72



## Liste des abréviations et des sigles

<b>CRP<sub>us</sub>:</b>	Protéine C-réactive ultra-sensible
<b>DÉAP:</b>	Dépense énergétique reliée à l'activité physique
<b>DÉER:</b>	Dépense énergétique reliée à l'entraînement en résistance
<b>DÉT:</b>	Dépense énergétique totale
<b>ER:</b>	Entraînement en résistance
<b>HDL:</b>	High Density Lipoprotein
<b>IL-6:</b>	Interleukine-6
<b>IMC:</b>	Indice de masse corporelle
<b>LDL:</b>	Low Density Lipoprotein
<b>MB:</b>	Métabolisme de base
<b>MONET:</b>	Montreal Ottawa New Emerging Team
<b>NWCR:</b>	National Weight Control Registry
<b>NHANES:</b>	National Health and Nutrition Examination Survey
<b>RC:</b>	Restriction calorique
<b>TASC:</b>	Tissu adipeux sous-cutané
<b>TAV:</b>	Tissu adipeux viscéral
<b>TNF-<math>\alpha</math>:</b>	Facteur onconécrosant-alpha

## Remerciements

Je tiens à remercier, avant tout, Dr Rémi Rabasa-Lhoret pour son support, ses conseils et la confiance qu'il m'a accordés tout au long de mes études de maîtrise. J'aimerais également le remercier de m'avoir donné l'opportunité de présenter mes résultats dans plusieurs congrès.

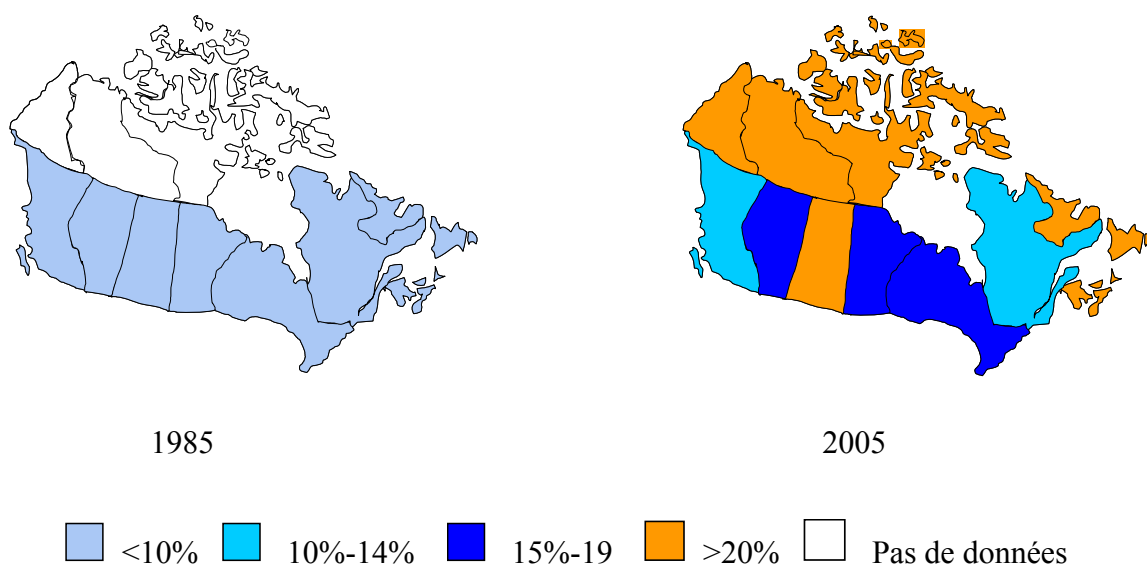
Je tiens aussi à remercier Dr Antony Karelis pour tous ses judicieux conseils ainsi que ses encouragements.

Finalement, je remercie mes parents qui m'ont toujours accordé leur appui au cours de mes études.

## Introduction

La prévalence et l'incidence de l'obésité atteignent maintenant des proportions épidémiques. En effet, on estime que dans les pays développés, entre 10 et 30 % des individus sont obèses (1). Les individus en surpoids (indice de masse corporelle entre 25 et 29,9 kg/m<sup>2</sup>) ou obèses (indice de masse corporelle  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>) sont à risque de développer des problèmes de santé parmi lesquels on retrouve le diabète de type 2, l'hypertension artérielle, la dyslipidémie, la maladie coronarienne, les accidents cérébrovasculaires, les problèmes musculo-squelettiques, certains types de cancers et les maladies pulmonaires (2). De plus, on retrouve chez les individus obèses une inflammation sub-clinique, principalement due à l'excès de la masse grasse, plus particulièrement de la masse grasse viscérale (3, 4). Cette inflammation sub-clinique pourrait jouer un rôle dans la survenue des complications telles que le diabète de type 2 et les maladies cardiovasculaires (5, 6).

Le Canada est aussi au prise avec une épidémie d'obésité, avec une prévalence ayant plus que quadruplé entre 1985 et 2004. La prévalence nationale de l'obésité en 1985 était de 5,6 % (7) tandis qu'en 2005, 24 % de la population canadienne était obèse, soit plus de 5,5 millions d'adultes (2). Cependant, en 2005, la prévalence de l'obésité était inférieure à 15 % pour les provinces du Québec et de la Colombie-Britannique. De plus, la prévalence de l'obésité a augmenté dans tous les groupes d'âge, à l'exception de celui des 65 à 74 ans. Les hausses les plus importantes ont été observées chez les adultes de moins de 35 ans et de plus de 75 ans (8). Cette augmentation rapide de la prévalence de l'obésité résulte de la combinaison de plusieurs facteurs parmi lesquels les changements environnementaux et culturels, c'est-à-dire la surconsommation et la sédentarité, jouent probablement un grand rôle (2). La **Figure 1** montre la prévalence de l'obésité en 1985 et en 2005 au Canada.

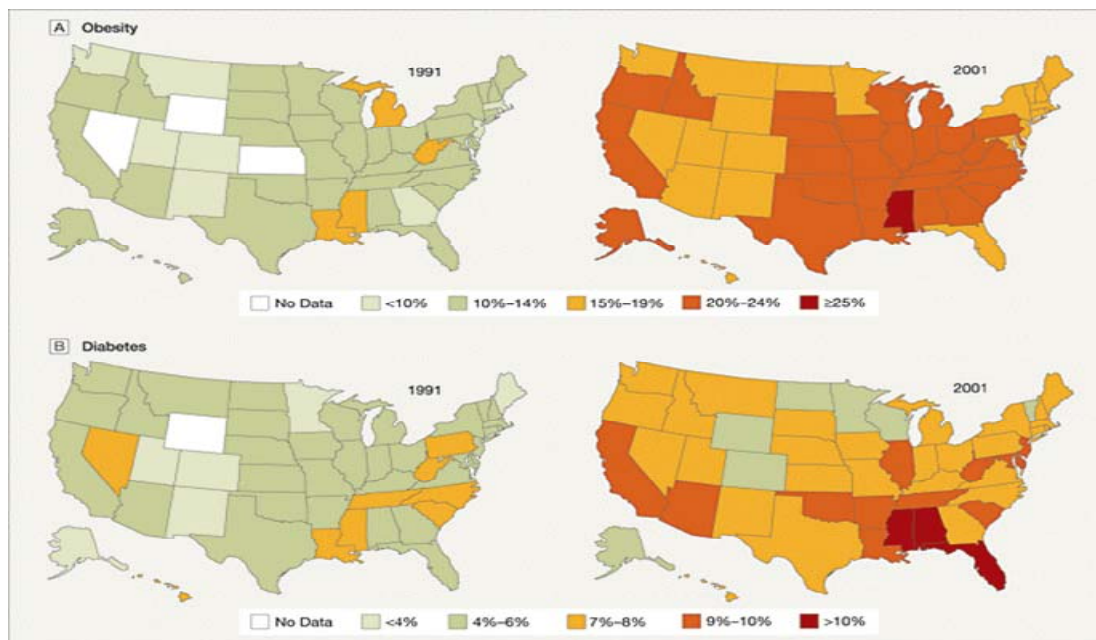


**Figure 1.** Prévalence de l'obésité chez les adultes au Canada en 1985 (adapté de Katzmarzyk et al. 2002) et en 2005 (adapté de Lau et al. 2006)

Les multiples complications associées à l'obésité se traduisent par une augmentation de la mortalité. En effet, entre 1985 et 2000, le nombre de décès annuel pouvant être directement attribué au surplus de poids et à l'obésité est passé de 2 514 à 4 321 au Canada (9). Cumulativement, 57 181 décès ont été attribués au surplus de poids et à l'obésité entre 1985 et 2000 (9). De plus, les coûts économiques reliés à l'obésité au Canada en 2001 s'élevaient à 4,3 milliards de dollars, représentant 2,2 % des coûts de santé (10). Ces statistiques démontrent l'importance de développer des stratégies de santé publique pour combattre l'épidémie d'obésité au Canada et ailleurs dans le monde.

Les États-Unis, comme d'autres pays tels que l'Allemagne et la Grande-Bretagne sont encore plus touchés. Aux États-Unis, les données du Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III : 1988-1994) indiquent que la prévalence de l'obésité a augmenté d'environ 8 % après avoir été relativement stable de 1960 à 1980 (1). Les plus récentes données de NHANES 1999-2000 montrent que la prévalence de l'obésité continue d'augmenter chez les hommes et les femmes et ce

dans tous les groupes d'âges (1). Plus précisément, le tiers des Américains sont obèses et cette proportion atteint 60 % si l'on considère les individus ayant un surpoids. De plus, cette hausse de la prévalence de l'obésité est fortement associée à l'augmentation du nombre d'individus atteints du diabète de type 2, tel que montré dans la **Figure 2**.



**Figure 2.** Prévalence de l'obésité et du diabète aux États-Unis en 1991 et 2001 (Mokad et al. 2003)

Il a été montré qu'une perte de poids entre 5 % et 10 % est associée à des bénéfices métaboliques significatifs. Par exemple, deux études ont rapporté qu'une intervention visant à modifier les habitudes alimentaires et à augmenter l'activité physique entraînait, sur trois ans, une diminution de l'incidence du diabète de 58 % (11, 12). De plus, l'addition d'un programme d'exercice à une intervention nutritionnelle améliorerait significativement les facteurs de risques cardiovasculaires, tel que le profil lipidique (2).

Cependant, le poids perdu est souvent difficilement maintenu et l'on observe fréquemment un retour au poids initial au cours des trois à cinq années suivant la fin

d'un programme de perte de poids (13). En effet, McGuire et al. (14) ont montré que des 228 participants inclus dans leur étude, seulement 47 (20,6 %) ont été identifiés comme étant des individus ayant réussi à maintenir leur perte de poids. Le regain de poids est néfaste pour les individus obèses, car il est associé à une récurrence des complications associées à l'obésité (15). De plus, plusieurs études suggèrent que les individus ayant présenté des fluctuations pondérales répétées présentent un profil métabolique et psychologique plus défavorable que les individus présentant le même degré de surpoids, mais sans histoire de fluctuation pondérale (16-20).

Le développement de stratégies pour prévenir ou au moins minimiser le regain de poids est donc une priorité pour la recherche en obésité. Les études d'observation, telle que le National Weight Control Registry (NWCR) ont identifié des comportements associés à une augmentation des chances de maintenir le poids perdu (21). Parmi les facteurs identifiés, le maintien d'une restriction énergétique ainsi que la pratique régulière d'activité physique sont des facteurs essentiels. Certaines études suggèrent également que la combinaison d'un programme d'exercice à un support nutritionnel permet de retarder et/ou minimiser le regain de poids. D'autre part, la perte de masse maigre induite par une restriction énergétique pourrait jouer un rôle dans le regain de poids (22) puisque celle-ci est associée à une baisse du métabolisme de repos (23, 24) et des niveaux d'activité physique (25).

La section suivante consiste en une revue de la littérature portant sur les différentes études ayant traité du problème de regain de poids et des possibles stratégies pouvant prévenir ou minimiser ce dernier. Par la suite, le deuxième chapitre de ce mémoire est consacré à la relation entre l'obésité et l'inflammation. Finalement, les bénéfices de l'entraînement en résistance pouvant justifier l'emploi de ce mode d'entraînement pour maintenir la perte de poids seront revus dans le troisième chapitre.

## Chapitre 1

### Le problème du regain de poids

Avant d'aborder le problème du regain de poids, il est important de définir la notion de maintien de la perte de poids. Selon Wing et Hill (21), cette définition doit tenir compte de la magnitude de la perte de poids ainsi que de la durée de maintien de cette perte de poids. La définition suivante a donc été proposée pour définir les individus ayant réussi à maintenir leur perte de poids : une perte de poids intentionnelle de 10 % du poids corporel initial et le maintien de cette perte de poids pendant un an (21). Par contre, avec cette définition, un individu ayant regagné du poids pourrait tout de même être identifié comme un individu ayant réussi à maintenir le poids perdu. Par exemple, un individu ayant perdu 20 % du poids corporel initial, mais ayant regagné la moitié de ce poids perdu aurait toujours une perte de poids de 10 % du poids corporel initial et donc devrait être considéré comme étant un individu ayant réussi à maintenir le poids perdu (21).

Tel que mentionné dans l'introduction, les individus ayant perdu du poids ont souvent de la difficulté à maintenir ce poids réduit. Il a même été rapporté que 50 % des individus perdant du poids à l'aide d'une diète regagnent le poids perdu (26). Donc, une question importante à résoudre est: quelles sont les interventions permettant de maintenir une perte de poids à long terme? Franz et al. (27) ont publié une revue de la littérature dont l'objectif était d'examiner le maintien de la perte de poids dans des études ayant un suivi minimum de douze mois et de déterminer quelles interventions permettaient une stabilité de la perte de poids à long terme. Les conclusions de cette revue de la littérature sont présentées dans la prochaine section.

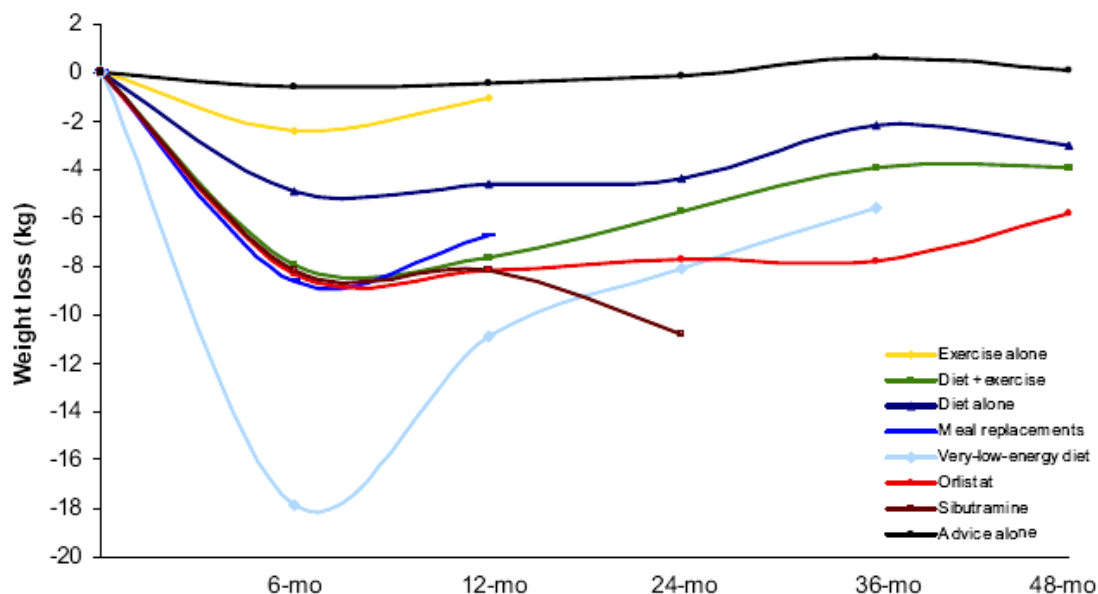
## 1.1 Interventions et perte de poids à long terme

Les études de perte de poids révisées étaient catégorisées en huit types d'interventions et les définitions des huit types d'interventions sont les suivantes:

- Conseils seulement: des conseils verbaux ou écrits sur la façon de perdre du poids
- Diète seulement: une restriction énergétique avec un traitement comportemental ou des conseils généraux afin d'augmenter l'activité physique
- Exercice seulement: des recommandations sur l'activité physique avec peu d'informations sur l'apport alimentaire
- Diète et exercice: une restriction énergétique avec un traitement comportemental ainsi que des objectifs spécifiques reliés à l'activité physique
- Substituts de repas: des substituts de repas pour au moins deux repas par jour et comme complément à une restriction énergétique
- Diète à très faible contenu énergétique: diète de 800 kilocalories ou moins par jour principalement sous forme de diète liquide
- Traitement pharmacologique: Orlistat (Xenical®) ou Sibutramine (Meridia®) en combinaison avec une intervention liée au mode de vie

La **Figure 3** montre les résultats de perte de poids pour les huit types d'interventions. Une perte de poids était observée durant les six premiers mois pour toutes les interventions. Après six mois, la perte de poids atteignait un plateau, puis on assistait à un regain de poids. Néanmoins, il est important de souligner que dans la majorité des cas, les patients ne revenaient pas à leur poids initial. Les participants recevant seulement des conseils ou qui pratiquaient seulement de l'activité physique perdaient peu de poids.





**Figure 3.** Perte de poids selon le type d'intervention (Franz et al. 2007)

Les participants assignés au groupe restriction énergétique seule présentaient une perte de poids de 4,9 kg (5 %) à 6 mois, maintenant cette perte de poids à 4,6 kg (4,6 %) à 12 mois, 4,4 kg (4,4 %) à 24 mois et 3,0 kg (3,0 %) à 48 mois. Lorsque des recommandations spécifiques pour l'exercice étaient ajoutées à une restriction énergétique, la perte de poids était de 7,9 kg (8,5 %) à 6 mois; la perte de poids atteignait un plateau à 12 mois pour finalement se maintenir à 3,9 kg (4 %) à 36 et 48 mois. Les substituts de repas entraînaient une perte de poids de 8,6 kg (9,6 %) à 6 mois et 6,7 kg (7,5 %) à 12 mois. La diète à très faible contenu énergétique était associée à une impressionnante perte de poids de 17,9 kg (16 %) à 6 mois, suivie d'un regain de poids rapide si bien qu'à 12 mois, la perte de poids était de 10,9 kg (10 %) et 5,6 kg (5 %) à 36 mois. L'exercice seulement était peu efficace, résultant en une perte de poids de 2,4 kg (2,7 %) à 6 mois et 1 kg (1 %) à 12 mois. Les participants prenant l'Orlistat présentaient une perte de poids de 8,3 kg (8 %) à 6 mois, 8,2 kg (8 %) à 12 mois, 7,7 kg (7 %) à 24 mois, 7,8 kg (7 %) à 36 mois et 5,8 kg (5,3 %) à 48 mois. Finalement, lorsque les participants prenaient la Sibutramine, la perte de poids était de 8,2 kg (8,4 %) à 6 mois, 8,2 kg (8,4 %) à 12 mois et 10,8 kg (11 %) à 24 mois.

Les résultats de cette revue de la littérature supportent les recommandations du American Diabetic Association's Adult Weight Management Evidence-Based Nutrition Practice Guidelines (28). Les lignes directrices recommandent que les interventions de perte de poids et de maintien du poids soient basées sur des programmes de contrôle du poids incluant des notions sur l'alimentation et l'activité physique ainsi qu'un traitement comportemental. De plus, une intervention de perte de poids devrait être d'une durée minimale de six mois suivie d'un programme visant le maintien de cette perte de poids à long terme. Enfin, la pharmacothérapie peut également être utilisée dans le cadre d'un programme de perte de poids et de prévention du regain de poids. Des travaux de recherche ont montré que la pharmacothérapie pourrait induire une perte de poids additionnelle chez certains individus obèses ou en surpoids (29, 30) ainsi que réduire significativement le regain de poids (31).

Cette revue de la littérature a permis d'identifier les interventions associées à un regain de poids moins important. Cependant, l'emphase doit maintenant être dirigée vers des programmes visant la prévention du regain de poids. Les prochaines lignes consistent en une revue de la littérature sur le rôle de l'exercice, du maintien des habitudes alimentaires ainsi que du support social dans la prévention du regain de poids.

## **1.2 Rôle de l'exercice dans la prévention du regain de poids**

Une augmentation de la dépense énergétique reliée à l'activité physique est un moyen d'obtenir une balance énergétique négative et donc de favoriser une perte de poids additionnelle ou encore le maintien du poids perdu. Néanmoins, la quantité d'activité physique varie substantiellement selon les objectifs visés.

Dans le cadre d'un programme de saines habitudes de vie, Santé Canada recommande de pratiquer 30 minutes d'activité physique d'intensité moyenne, 3 à 5 fois par semaine afin d'améliorer le profil de risque cardiovasculaire et de prévenir le gain de

poids (2, 32). Quant aux programmes de perte de poids, les études cliniques indiquent que le fait de combiner un programme d'entraînement à une diète hypocalorique se traduit par une perte de poids additionnelle mineure (33, 34) avec toutefois un effet dose-réponse qui implique de réaliser plus de 225 minutes d'exercice par semaine pour espérer perdre plus de 5 kg (35). Néanmoins, l'addition d'un programme d'entraînement est bénéfique pour améliorer la composition corporelle (36-38) et les paramètres métaboliques (38-40).

Il est possible que l'exercice joue un rôle plus important dans la prévention du gain et du regain de poids que pour maximiser la perte de poids (41). Des évidences indirectes supportant les effets bénéfiques de l'exercice dans le maintien d'un poids réduit proviennent d'études longitudinales associant l'exercice et l'absence de gain de poids dans la population générale. Par exemple, Williamson et al. (42) ont étudié un échantillon de la cohorte NHANES I dix ans après la collection des données initiales. Il a été observé que les niveaux d'activité physique au suivi étaient inversement associés au poids corporel (42). Similairement, Sherwood et al. (43) ont montré que la fréquence à laquelle les individus pratiquaient une activité physique étaient négativement corrélée au gain de poids.

Le American College of Sports Medicine recommande de pratiquer au moins 150 minutes d'exercice par semaine à une intensité modérée afin de prévenir le gain de poids, améliorer le profil métabolique et/ou optimiser la condition cardiovasculaire (44). Cependant, des niveaux d'activité physique plus élevés pourraient être nécessaires pour limiter le regain de poids. Par exemple, deux études ont montré que le regain de poids était minimisé avec l'addition de 200 à 300 minutes d'activité physique par semaine (45, 46).

Il n'est pas encore clair si l'intégration de l'activité physique dans un programme de maintien du poids a des effets bénéfiques sur la prévention du regain de poids et les complications métaboliques de l'obésité, telles que les niveaux élevés de lipides sanguins et la résistance à l'insuline. De plus, le type d'activité physique employé,

c'est-à-dire l'entraînement en endurance ou en résistance, pourrait aussi jouer un rôle dans le maintien du poids. L'entraînement en endurance (jogging, vélo, ski de fond) exige la réalisation d'efforts prolongés à une intensité moyenne et sollicite l'ensemble des muscles. L'entraînement en résistance (musculature) exige la réalisation d'exercices courts, rapides et intenses. Dans les prochaines lignes, plusieurs études ayant examiné le rôle de l'entraînement en endurance ou en résistance seront décrites.

Fogelholm et al. (47) ont examiné si un programme de marche d'intensité modérée, débuté après une perte de poids, améliorerait le maintien du poids perdu et les complications métaboliques associées à l'obésité chez des femmes obèses pré-ménopausées. Tout d'abord, les sujets participaient à un programme de perte de poids de 12 semaines. Par la suite, les sujets étaient randomisés dans un des trois groupes suivants pour 40 semaines : groupe contrôle sans augmentation de l'activité physique, groupe de marche 1 (2-3 heures/semaine) ou groupe de marche 2 (4-6 heures/semaine). Quarante-deux sujets ont complété la période de perte de poids de 12 semaines, présentant une perte de poids moyenne de 13,1 kg. Les lipides sanguins, la pression artérielle systolique ainsi que les niveaux plasmatiques de glucose et d'insuline s'étaient améliorés suivant la période de perte de poids. Durant le programme de maintien du poids, un regain de poids a seulement été observé dans le groupe contrôle. Des résultats semblables ont été notés pour la masse grasse et la circonférence de la taille. Malgré le fait que le poids soit resté stable, la plupart des paramètres métaboliques se sont détériorés, à l'exception de la pression artérielle diastolique, des niveaux plasmatiques de glucose et du HDL-cholestérol.

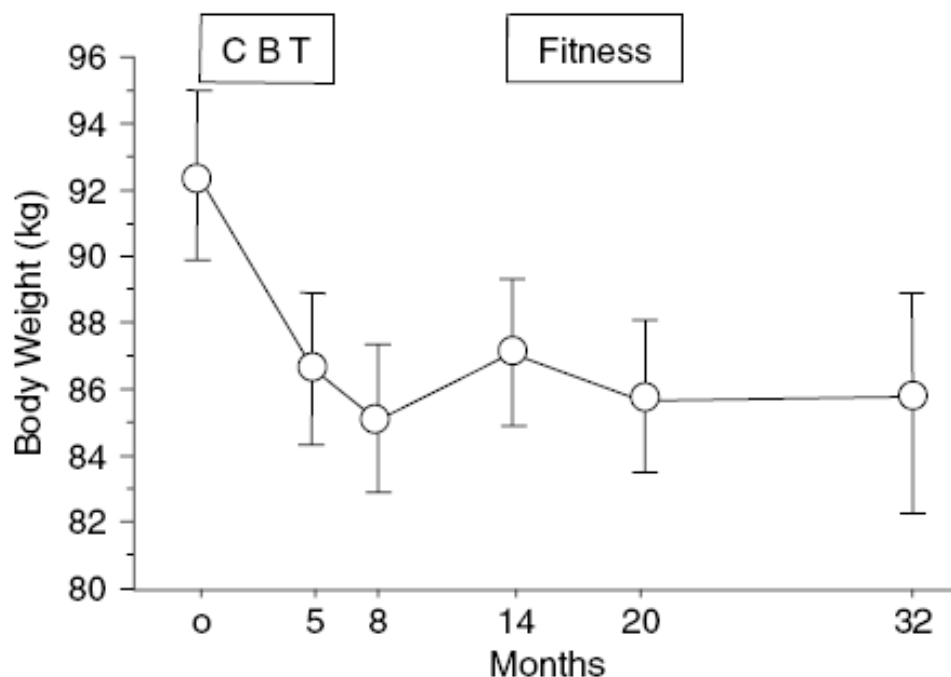
Dans une autre étude, Van Aggel-Leijssen et al. (48) ont évalué les effets d'un programme d'entraînement en endurance à faible intensité sur le regain de poids chez 37 hommes obèses. En premier lieu, les sujets participaient à une intervention de perte de poids avec ou sans entraînement en endurance pendant douze semaines. La période de perte de poids était suivie d'une phase de maintien du poids d'une durée de 40 semaines avec ou sans entraînement en endurance. Dans cette étude, la perte de poids était approximativement de 15 kg dans les deux groupes. De plus, les résultats de cette

dernière étude ont montré qu'un programme d'entraînement à faible intensité ne prévenait pas le regain de poids (groupe contrôle : regain de 7,1 kg; groupe entraînement en endurance : regain de 8,9 kg). Cependant, la présence aux séances d'entraînement était négativement associée au regain de poids. Les auteurs ont suggéré que si l'entraînement était pratiqué 3 fois par semaine comparativement à une fois par semaine, le regain de poids aurait été de l'ordre de 4 kg. Donc, ces observations indiquent que la présence aux séances d'entraînement est un facteur important dans le succès du maintien du poids.

Pasman et al. (49) ont également investigué si l'entraînement en endurance était efficace dans le maintien d'une perte de poids à long terme chez 15 hommes obèses. Durant les quatre premiers mois de cette étude, les sujets s'entraînaient trois à quatre fois par semaine et devaient consommer une diète très faible en calories pour deux mois. Ensuite, sept sujets ont poursuivi l'entraînement pendant 12 mois (3-4 fois par semaine) tandis que les huit autres sujets ont servi de groupe contrôle. Il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes pour le regain de poids. Le regain de poids était de 52 % dans le groupe entraînement et de 74 % dans le groupe contrôle. Par contre, le regain de masse grasse était significativement plus important dans le groupe contrôle (92 % dans le groupe contrôle versus 61 % dans le groupe entraînement). Les auteurs ont suggéré que le regain de poids et de masse grasse pourraient être expliqués par, entre autres, une augmentation plus marquée de l'apport énergétique par rapport à la dépense énergétique. Les résultats de cette étude suggèrent que le maintien de la perte de masse grasse est extrêmement difficile malgré un entraînement relativement intensif.

Villanova et al. (50) ont étudié les effets d'un programme de mise en forme sur le maintien de la perte de poids chez des individus en surpoids et obèses. Les participants prenaient part à un traitement comportemental d'une durée de 3 à 5 mois afin d'engendrer une perte de poids. Environ neuf mois après la fin du traitement comportemental, les sujets débutaient le programme de mise en forme. Le but initial du programme était d'encourager les participants à marcher au minimum 10 à 15

minutes par jour, trois à cinq fois par semaine. À la fin du programme, les sujets devaient atteindre la cible de 30 minutes de marche par jour. La **Figure 4** présente le changement dans le poids corporel au cours de l'étude chez les sujets en surpoids ou obèses participant au programme de mise en forme. Une perte de poids de 6,7 kg, soit 6,6 % du poids corporel initial, a été observée suite à la complétion du traitement comportemental. Entre le cinquième et le huitième mois, la perte de poids s'est poursuivie, mais du huitième mois au quatorzième mois, un regain de poids significatif d'environ 2 kg a été noté. De plus, l'activité physique a augmenté suite au traitement comportemental, en moyenne, le nombre de pas par jour avait augmenté de 2000. Lorsque les sujets ont débuté le programme de mise en forme, une perte de poids significative de 1,4 kg a été observée. De plus, durant le programme de mise en forme, une augmentation du niveau d'activité physique d'environ 3000 pas par jour a également été notée. Un an après la fin du programme de mise en forme, le regain de poids moyen était de 0,8 kg, mais celui-ci était non significatif. Les résultats de cette étude semblent suggérer qu'un programme de mise en forme augmente les niveaux d'activité physique et prévient le regain de poids suite à un traitement comportemental. En retour, le maintien de la perte de poids pourrait favoriser l'adhérence à un mode de vie incluant l'exercice physique et une saine alimentation.

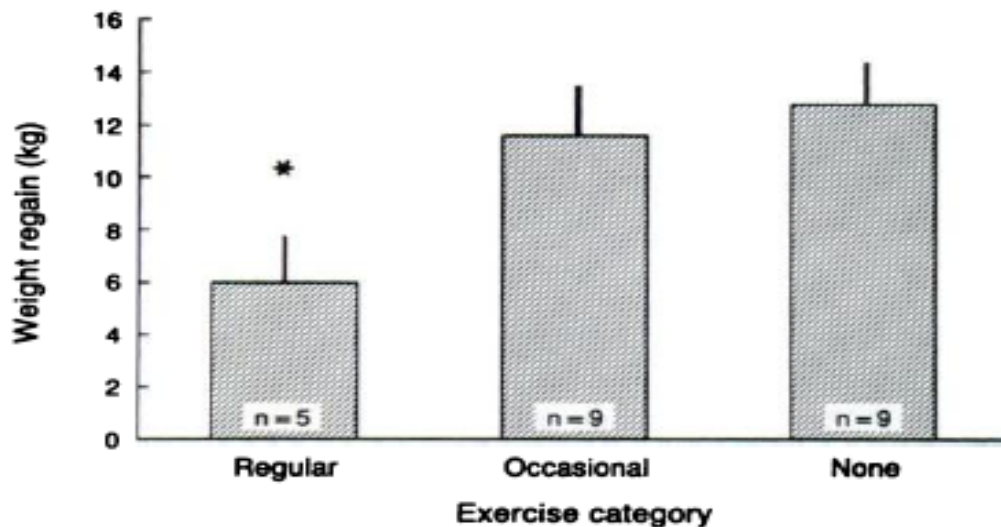


**Figure 4.** Évolution du poids corporel lors de la thérapie comportementale et le programme de mise en forme (Villanova et al. 2006). CBT : thérapie comportementale; Fitness : programme de mise en forme.

Malgré le fait que certaines des études décrites précédemment aient démontré l'efficacité de l'exercice dans la prévention du regain de poids, il est également important de déterminer le niveau d'activité physique nécessaire pour observer un tel bénéfice. Il semble plausible d'affirmer que les individus qui s'engagent dans des périodes d'activité physique plus longues et fréquentes présenteront un meilleur maintien de la perte de poids (51). Dans le même sens, il existe peut-être un niveau de dépense énergétique minimum élevé (> 200 minutes/semaine) nécessaire pour maintenir une perte de poids (51).

Hensrud et al. (52) ont rapporté que les individus obèses qui pratiquaient régulièrement une activité physique regagnaient moins de poids que ceux qui ne pratiquaient aucune activité physique. De plus, les individus s'entraînant régulièrement avaient tendance à regagner moins de poids que ceux qui ne s'entraînaient qu'occasionnellement (**Figure 5**). Dans cette étude, les individus obèses

pratiquant régulièrement une activité physique marchaient trois à cinq fois par semaine et ce pendant 30 à 45 minutes.



**Figure 5.** Regain de poids selon les catégories d'exercice chez des femmes obèses (Hensrud et al. 1994). \* Significativement différent des individus ne pratiquant aucune activité physique.

Similairement, Jakicic et al. (45) ont observé que la perte de poids était corrélée aux niveaux d'activité physique. Les sujets rapportant moins de 150 minutes d'exercice par semaine avaient maintenu une perte de poids de 4,7 %; 150 minutes par semaine et plus, 9,5 %; 200 minutes par semaine et plus, 13,6 %. De plus, il a été rapporté que 210 minutes par semaine de marche rapide étaient associées à un regain de poids de 40 % tandis que 600 minutes par semaine de marche rapide étaient associées à un regain de poids inférieur à 15 % (51).

Les études précédemment décrites ont principalement évalué le rôle de l'entraînement en endurance dans la prévention du regain de poids. Par contre, peu d'études ont porté sur le rôle potentiel de l'entraînement en résistance dans le maintien de la perte de poids. Pourtant, l'entraînement en résistance pourrait s'avérer efficace dans la prévention du regain de poids puisqu'il a été montré que ce type d'entraînement a des effets bénéfiques sur la composition corporelle et la dépense énergétique (53).



À notre connaissance, une seule étude a étudié les effets potentiels de l'entraînement en résistance dans la prévention du regain de poids (54). L'objectif de l'étude de Borg et al. (54) était de déterminer si l'addition d'un programme de marche ou d'entraînement en résistance à des conseils diététiques, débuté après une perte de poids, améliorerait le maintien de cette perte de poids chez quatre-vingt-dix hommes obèses. Cette étude, d'une durée de 31 mois, était divisée en trois phases : 1) une période de perte de poids de deux mois; 2) une période de maintien de la perte de poids de six mois durant laquelle les sujets étaient randomisés dans un des trois groupes suivants : contrôle, marche, entraînement en résistance; 3) un suivi non supervisé d'une durée de 23 mois. Les sujets randomisés dans les groupes incluant un programme d'exercice s'entraînaient 45 minutes, trois fois par semaine. La perte de poids moyenne était de 14,3 kg, entraînant une baisse de l'indice de masse corporelle de 4,4 kg/m<sup>2</sup>. De plus, une perte de masse grasse de 10,1 kg était observée alors que le pourcentage de masse grasse passait de 34,7 % à 29,3 %. Durant la période de maintien de la perte de poids, aucune différence significative entre les groupes a été notée pour le changement du poids corporel malgré le fait que les sujets du groupe contrôle et du groupe de marche avaient tendance à regagner du poids (regain de 1,6 kg et 1,8 kg, respectivement) tandis que ceux randomisés en entraînement en résistance avaient tendance à maintenir leur poids corporel (regain de 0,3 kg). Par contre, un regain significatif de masse grasse était observé seulement dans le groupe contrôle (regain de 2,2 kg). De plus, le changement dans la masse grasse était significativement différent entre le groupe contrôle et le groupe entraînement en résistance (regain de 2,2 kg vs. perte de 0,6 kg,  $p = 0,01$ ). Cependant, à la fin de l'étude, il n'y avait pas de différence significative entre les trois groupes pour le regain de poids et de masse grasse. Au cours de la période de suivi non supervisée, la dépense énergétique liée à l'activité physique diminuait dans les trois groupes, mais particulièrement dans le groupe de marche (diminution de 46 %) et le groupe d'entraînement en résistance (diminution de 29 %).

Ces résultats suggèrent qu'un programme d'entraînement en résistance débuté après une perte de poids entraîne quelques changements favorables au niveau de la

composition corporelle lorsque comparé à un groupe contrôle. Cependant, un programme de marche ou d'entraînement en résistance n'est pas associé à un meilleur maintien du poids. L'inefficacité d'un programme d'entraînement structuré dans la prévention du regain de poids pourrait être expliquée par le fait que les niveaux d'activité physique ne sont pas maintenus suite à la complétion du programme d'entraînement.

À partir de la même cohorte, l'efficacité d'un programme de marche ou d'entraînement en résistance dans l'amélioration des composantes du syndrome métabolique a été évaluée (55). Avec la perte de poids, toutes les composantes du syndrome métabolique se sont améliorées, à l'exception du HDL-cholestérol qui est demeuré inchangé. À la fin de la période de maintien du poids, toutes les composantes du syndrome métabolique étaient toujours significativement différentes des valeurs précédant le début de l'intervention dans les trois groupes, à l'exception du HDL-cholestérol. En effet, Kukkonen-Harjula et al. (55) ont observé une augmentation du HDL-cholestérol lors de la période de maintien du poids et celle-ci était significativement plus importante chez les sujets randomisés dans le groupe entraînement en résistance que ceux randomisés dans le groupe de marche. À la fin de l'étude, une amélioration significative par rapport au début de l'étude était observée dans les trois groupes pour le HDL-cholestérol et l'insuline tandis que la pression artérielle, les triglycérides ainsi que la glycémie à jeun étaient retournés aux valeurs initiales.

Donc, pareillement à l'étude de Borg et al. (54), les résultats de cette dernière étude suggèrent qu'un programme d'entraînement structuré n'améliore pas les composantes du syndrome métabolique comparativement à un groupe contrôle. L'effet modeste de l'entraînement sur les composantes du syndrome métabolique dans cette étude pourrait être principalement expliqué par : 1) une faible dépense énergétique due à la durée, l'intensité et/ou la fréquence de l'entraînement; 2) l'adhérence modérée au programme d'entraînement (86 % pour la marche et 66 % pour l'entraînement en résistance).

En se basant sur les études précédemment décrites, on peut affirmer qu'il existe donc une multitude de combinaisons possibles en termes de type d'exercice (endurance vs. résistance), de fréquence, de durée et d'intensité, ce qui rend difficile la comparaison de la contribution relative des différents facteurs importants. Par ailleurs, compte tenu de l'importante variabilité inter-sujet dans la perte puis le regain de poids, il est possible que le nombre de sujets inclus dans ces études soit insuffisant pour mettre en évidence le rôle de l'exercice physique dans le maintien du poids perdu. De plus, le niveau d'apport alimentaire a été rarement mesuré et il est bien établi que lorsqu'il l'est à l'aide d'une enquête alimentaire, la fiabilité de cette mesure est discutable (56, 57). Il est également possible que le fait de réaliser un exercice modifie la prise alimentaire. En effet, la pratique d'un exercice à haute intensité entraîne une augmentation de la prise alimentaire lors du repas suivant la session d'exercice (58). Enfin, il n'est pas établi qu'une augmentation de la dépense énergétique lors de séances d'activité physique d'un programme d'entraînement se traduise par une augmentation de la dépense énergétique totale. En effet, si le programme d'entraînement induit une fatigue importante, l'augmentation des périodes de repos entre les séances pourrait minimiser le bénéfice attendu (59).

Mis à part l'exercice, d'autres types d'intervention ont été étudiés dans le contexte du regain de poids, tels que des programmes de maintien du poids incluant un contact avec un professionnel de la santé (nutritionniste, intervenant en exercice, médecin, psychothérapeute).

### **1.3 Rôle du maintien des changements dans les habitudes alimentaires et du support social dans la prévention du regain de poids**

Perri et Corsica (60) ont évalué plusieurs interventions dont l'objectif était de maintenir la perte de poids à long terme. Ces interventions incluaient :

- L'aide d'un professionnel de la santé afin de maintenir les changements requis pour le maintien de la perte de poids

- Une formation sur la prévention du regain de poids qui enseignait aux patients des habiletés spécifiques pour surmonter des revers et faire face aux problèmes
- Des indemnités financières pour inciter les patients à adhérer à des programmes de maintien du poids
- Des plans alimentaires structurés ou des repas à faible contenu énergétique, préemballés et gratuits
- Des appels téléphoniques permettant des contacts fréquents entre les patients, encourageant ainsi l'auto-surveillance
- Un soutien par les pairs, c'est-à-dire que les patients organisaient des réunions de groupe après la fin d'une intervention visant une perte de poids
- Une augmentation de l'activité physique durant et après la perte de poids, que ce soit à la maison, en groupe ou avec l'aide d'un entraîneur
- Un programme combinant des réunions de groupes avec un contact patient – thérapeute par courriel et téléphone, une formation sur la prévention du regain de poids ou un support social
- Un traitement comportemental comprenant deux sessions par semaine pendant plus de six mois

Perri et Corsica (60) ont observé que les réunions de groupe, les formations de prévention du regain de poids sans contact avec un thérapeute, les contacts téléphoniques entre les patients, les indemnités financières, les programmes d'exercice supervisé, l'utilisation d'un entraîneur personnel ainsi que la disponibilité de repas dont les portions étaient contrôlées ne semblaient pas être des stratégies efficaces pour le maintien de la perte de poids. Au contraire, il a été clairement montré que poursuivre une intervention au-delà de six mois en effectuant des sessions de traitement comportemental une à deux fois par semaine améliorerait le maintien d'une perte de poids. Ceci suggère donc que des interventions prolongées combinant un contact patient – thérapeute avec une formation sur la prévention du regain de poids ou un support social ont des effets positifs sur le maintien de la perte de poids.

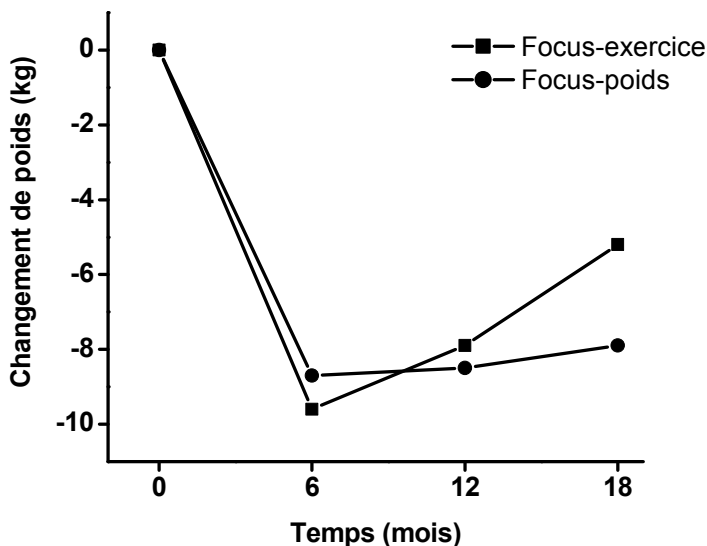
Les différentes interventions proposées par Perri et Corsica (60) proviennent, entre autres, des résultats d'une étude antérieure de Perri et al. (61) qui évaluait l'efficacité de quatre programmes destinés à améliorer le maintien d'une perte de poids à long terme. Des individus obèses étaient assignés à un des cinq groupes suivants : 1) traitement comportemental seulement; 2) traitement comportemental plus un contact avec un thérapeute; 3) traitement comportemental plus un contact avec un thérapeute et un programme de support social; 4) traitement comportemental plus un contact avec un thérapeute et un programme d'entraînement en endurance; 5) traitement comportemental plus un contact avec un thérapeute, un programme d'entraînement en endurance et un programme de support social. Tous les programmes consistaient en des sessions données deux fois par semaine dans l'année suivant une intervention de perte de poids. Cette étude a montré que les quatre interventions combinant un traitement comportemental à un autre type d'intervention étaient associées à un meilleur maintien de la perte de poids comparativement à un traitement comportemental seulement.

Similairement, Baum et al. (62) ont étudié l'efficacité d'un programme incluant un support de la part d'un thérapeute à un programme avec contact minimal (groupe contrôle) dans la prévention du regain de poids. Trente-deux sujets avaient préalablement complété une intervention de perte de poids de douze semaines. Par la suite, les sujets étaient randomisés dans un des deux programmes mentionnés ci-dessus pour douze mois. À la fin de l'étude, les sujets ayant bénéficié d'un support de la part d'un thérapeute avaient mieux réussi à maintenir leur perte de poids que les sujets du groupe contrôle. Cette étude a probablement permis à Perri et Corsica (60) de conclure qu'une intervention incluant un contact patient – thérapeute avait des effets positifs sur le maintien de la perte de poids.

Leermakers et al. (63) ont comparé l'efficacité d'un programme mettant l'accent sur l'exercice (focus-exercice) à un programme mettant l'emphase sur le poids (focus-poids) dans la prévention du regain de poids. Soixante-neuf individus obèses, ayant précédemment complété un programme de perte de poids d'une durée de 6 mois, ont

été invités à participer à cette intervention d'une durée de 6 mois; 67 ont accepté l'invitation et 57 ont complété l'intervention. Un suivi était également effectué 6 mois après la complétion de l'étude. Malgré le fait que la dépense énergétique et les niveaux d'activité physique étaient comparables entre les deux groupes, les participants randomisés dans le groupe focus-poids maintenaient mieux leur perte de poids que les sujets du groupe focus-exercice (90 % du poids perdu comparativement à 54,2 % du poids perdu, respectivement) (**Figure 6**). Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que l'intervention mettant l'emphase sur l'exercice donnait peu d'informations sur l'importance du contrôle de l'apport énergétique et de la composition de celui-ci. Dans ce sens, les sujets du groupe focus-poids adhéraient en plus grande proportion à leurs objectifs d'apport énergétique que les participants du groupe focus-exercice. De plus, les sujets du groupe focus-poids consommaient significativement moins de matières grasses à la fin de l'étude que les sujets du groupe focus-exercice.

En résumé, les résultats des études décrites dans cette section montrent qu'une intervention prolongée et motivante pour les participants et qui inclue des contacts continus augmente l'adhérence au programme et semble entraîner de meilleurs résultats en ce qui concerne le maintien de la perte de poids.



**Figure 6.** Changement de poids en kilogrammes du mois 0 au mois 6, 12, et 18 des participants ayant complété l'étude (adapté de Leermakers et al., 1999)

#### 1.4 Caractérisation des individus ayant réussi à maintenir leur perte de poids

Dans les deux précédentes sections, différents types d'intervention visant à prévenir le regain de poids ont été décrits. Cependant, une autre approche pouvant être utilisée afin d'accroître nos connaissances sur les facteurs prévenant le regain de poids est de caractériser les individus qui ont réussi à perdre du poids et à maintenir cette perte de poids.

Le National Weight Control Registry (NWCR) est un registre de plus de 4000 individus ayant perdu au moins 13,6 kg et maintenu cette perte de poids pour au moins un an. Lorsque les individus adhéraient à ce registre, ils devaient compléter une série de questionnaires portant, entre autres, sur les stratégies employées pour maintenir leur perte de poids. Par conséquent, plusieurs facteurs importants dans la prévention du regain de poids ont pu être identifiés à partir de ce registre.

Premièrement, l'apport énergétique et la restriction de certains aliments semblent être des éléments importants pour le maintien de la perte de poids. En effet, Klem et al.

(13) ont noté que 92 % des individus du NWCR limitaient leur apport en certains aliments. De plus, au moins un tiers de ces individus employaient les stratégies suivantes : limiter la quantité d'aliments consommés (49,2 %), limiter l'apport énergétique en matières grasses (38,1 %), compter le nombre de calories (35,5 %) et compter le nombre de grammes de matières grasses (30 %). Wing et Hill (21) ont également rapporté que les individus faisant partie du NWCR évitaient de consommer en trop grande quantité des aliments frits et riches en matières grasses. Ces résultats soulignent l'importance d'une alimentation faible en matières grasses pour la réussite du maintien d'une perte de poids. D'autre part, une autre étude a observé que les individus ayant maintenu leur perte de poids consommaient au moins cinq portions de fruits et légumes par jour (56,2 %), utilisaient des plats préemballés à faible contenu énergétique (31,4 %), contrôlaient leur portion (48,2 %), comptaient leur apport en matières grasses et choisissaient des aliments faibles en matières grasses (46 %) (64). Fait intéressant, il a également été rapporté que 78 % des individus du NWCR déjeunaient à tous les matins (65).

La fréquence à laquelle les individus se pèsent pourrait aussi jouer un rôle clé dans la prévention du regain de poids. Selon le NWCR, 38 % des individus rapportaient se peser quotidiennement et 6,5 % se pesaient plus qu'une fois par jour. Plus précisément, près de un tiers de la population du NWCR rapportait se peser une fois pas semaine et 24 % se pesaient moins d'une fois par semaine (13). Similairement, Befort et al. (64) ont noté que 75,9 % des individus ayant maintenu leur perte de poids se pesaient une fois par semaine comparativement à 61,9 % pour les individus n'ayant pas réussi à maintenir leur perte de poids (cette différence n'était pas significative). Ces résultats suggèrent tout de même que surveiller les fluctuations de poids peut contribuer à la prévention du regain de poids.

Tel que discuté précédemment, une augmentation des niveaux d'activité physique pourraient avoir un effet positif sur le maintien de la perte de poids. Il a été montré que les individus ayant maintenu leur perte de poids pratiquaient une activité physique pendant au moins 30 minutes par jour (64, 66), tenaient un journal d'activité physique



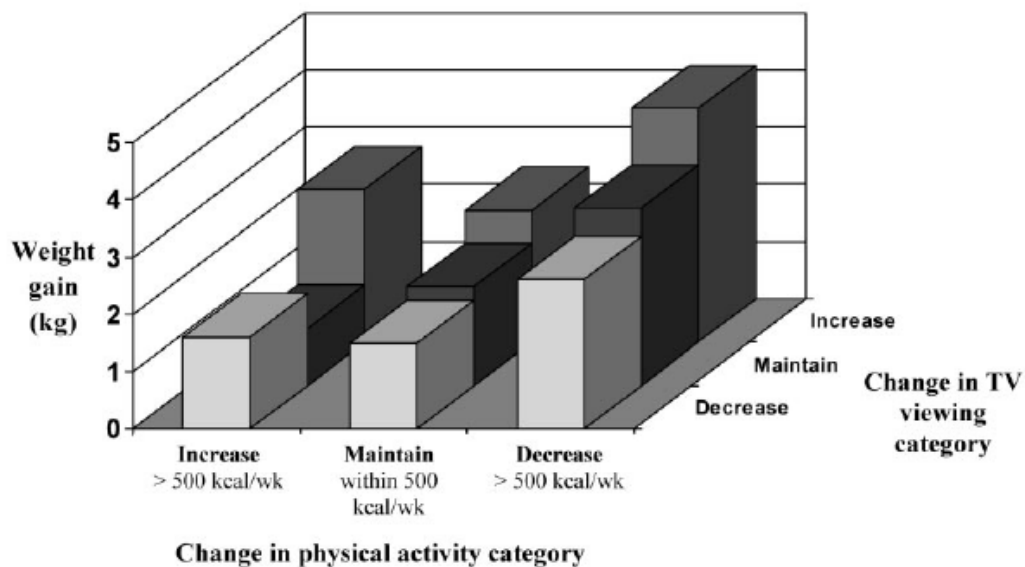
(64) et planifiaient des périodes d'activité physique (64, 66). De plus, parmi les membres du NWCR, 52 % dépensaient plus de 1000 kilocalories et 72 % dépensaient plus de 2000 kilocalories par semaine en pratiquant de l'activité physique (21). Le **Tableau 1** montre les six activités physiques les plus fréquemment pratiquées par les membres du NWCR. Quarante-neuf pourcent des individus du NWCR rapportaient combiner la marche avec une autre forme d'exercice, 28 % rapportaient seulement marcher et 14 % rapportaient pratiquer une seule autre forme d'exercice (21). La marche semble donc être un aspect important de l'exercice pour plus de 75 % des membres du NWCR (21).

**Tableau 1.** Les six activités physiques les plus fréquemment rapportées par les membres du NWCR (Wing et Hill, 2001)

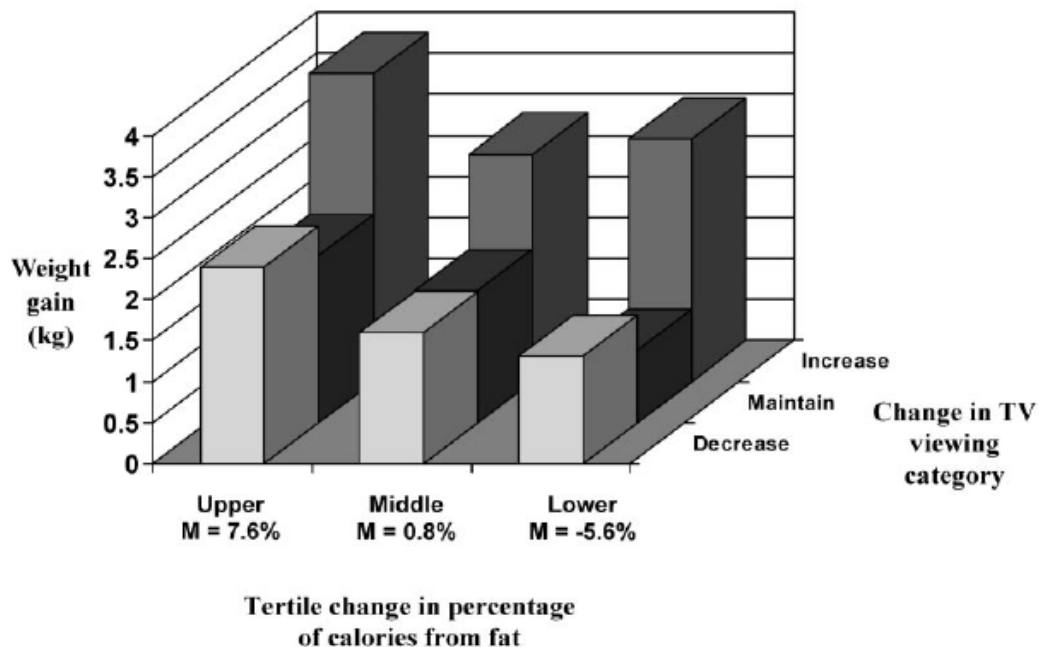
Activité physique	% des membres rapportant cette activité
Marche	76,6
Vélo	20,6
Entraînement musculaire	20,3
Entraînement en endurance	17,8
Course	10,5
Monter les escaliers	9,3

Récemment, il a été suggéré que le nombre d'heures de télévision joue un rôle important dans le maintien de la perte de poids. Raynor et al. (67) ont montré que les individus regardant plus de 10 heures de télévision par semaine présentaient également des niveaux d'activité physique plus bas et une plus grande consommation de matières grasses. Cependant, l'association entre le nombre d'heures de télévision et le regain de poids était indépendante des niveaux d'activité physique et de l'apport énergétique. La **Figure 7** montre qu'une diminution des niveaux d'activité physique et une augmentation du nombre d'heures de télévision sont associées à un regain de poids de 4,1 kg. Au contraire, les individus qui augmentaient leur niveau d'activité physique et diminuaient leur nombre d'heures de télévision regagnaient seulement 1,6 kg. Similairement, il a été observé qu'une augmentation de l'apport énergétique provenant des matières grasses et du nombre d'heures de télévision résultait en un

regain de poids de 6,7 kg. Au contraire, les individus qui diminuaient leur apport énergétique provenant des matières grasses et leur nombre d'heures de télévision regagnaient seulement 1,3 kg (**Figure 8**). Ces résultats semblent indiquer que minimiser le nombre d'heures de télévision est une autre stratégie pouvant potentiellement prévenir le regain de poids.



**Figure 7.** Effet du changement des niveaux d'activité physique et du nombre d'heures de télévision sur le regain de poids (Raynor et al. 2006)



**Figure 8.** Effet du changement de l'apport énergétique provenant des matières grasses et du nombre d'heures de télévision sur le regain de poids (Raynor et al. 2006)

Plusieurs autres facteurs pouvant influencer le maintien d'une perte de poids et le regain de poids sont présentés dans le **Tableau 2**. À partir de ces facteurs, on peut dresser le profil d'un individu réussissant à maintenir une perte de poids (68). Tout d'abord, cet individu atteint son objectif de perte de poids. Il ou elle regarde peu la télévision et pratique plusieurs activités physiques telles que la marche ou le vélo. L'apport alimentaire est abaissé, les repas sont pris à des heures constantes et les aliments sains sont choisis à l'instar des aliments riches en matières grasses. Le déjeuner est pris à tous les matins et le nombre de collations est réduit. Finalement, si un léger regain de poids survient, cet individu peut gérer cette situation sans trop de problème.

**Tableau 2.** Facteurs associés avec le maintien de la perte de poids et le regain de poids (adapté de Elfhag et Rossner, 2005)

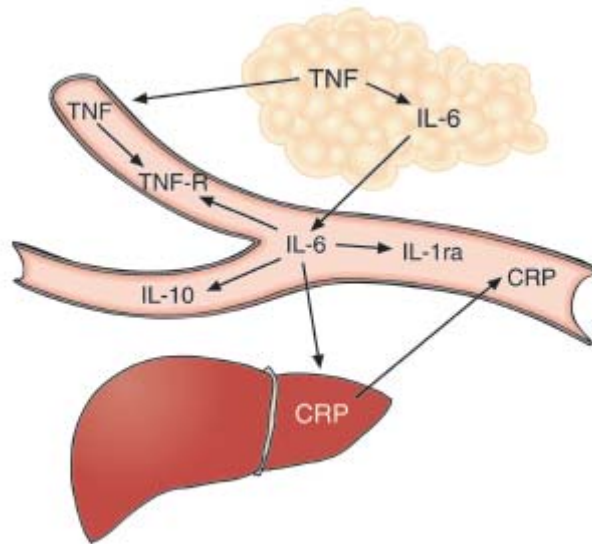
<b>Maintien de la perte de poids</b>	<b>Regain de poids</b>
Objectif de perte de poids atteint	Attribuer obésité à des facteurs médicaux
Plus grande perte de poids initiale	Barrières à la perte de poids
Vie active	Histoire de reprise de poids
Repas pris aux mêmes heures	Style de vie sédentaire
Prise du déjeuner	Manger en réponse à des émotions négatives
Moins de matières grasses, plus d'aliments sains	Stress
Réduire le nombre de collations	Manque de support social
Motivation pour perdre du poids	Réactions passives à des problèmes
Vie stable	Manque de confiance en soi
Autonome	
Bonne capacité de gestion	
Auto-surveillance	
Support social	

Pour conclure, trois principaux comportements semblent être importants pour le maintien d'une perte de poids : 1) des niveaux élevés d'activité physique; 2) consommer une diète faible en gras et riche en glucides; et 3) surveiller son poids en se pesant fréquemment.

## Chapitre 2

### Obésité et inflammation

L'inflammation sub-clinique est caractérisée par des niveaux sanguins élevés de la protéine C-réactive (CRP) et d'autres cytokines inflammatoires (69). La **Figure 9** présente un schéma de l'inflammation sub-clinique : le facteur onconécrosant-alpha (TNF- $\alpha$ ) est produit par le tissu adipeux ce qui stimule la production de l'interleukine-6 (IL-6) dans le tissu adipeux. L'IL-6 augmente à son tour les niveaux systémiques de plusieurs cytokines inflammatoires et entraîne la production de la CRP par le foie.



**Figure 9.** Représentation de l'inflammation sub-clinique (Petersen et Pedersen 2005)

Des études ont observé la présence d'une inflammation sub-clinique chez les individus obèses (6, 70-72). En effet, il a été rapporté que l'indice de masse corporelle est positivement corrélé à certains marqueurs inflammatoires. Par exemple, l'indice de masse corporelle était positivement corrélé aux concentrations sanguines de la CRP (6, 70, 72) et du TNF- $\alpha$  (73). Roytblat et al. (71) ont également observé que les niveaux sériques de l'IL-6 étaient élevés chez les individus obèses. L'haptoglobine et l'orosomucoïde, deux glycoprotéines plasmatiques impliquées dans la réponse hépatique de la phase aiguë de l'inflammation ont également été associées à l'indice de masse corporelle (74, 75) et la masse grasse (74). De plus, des études prospectives

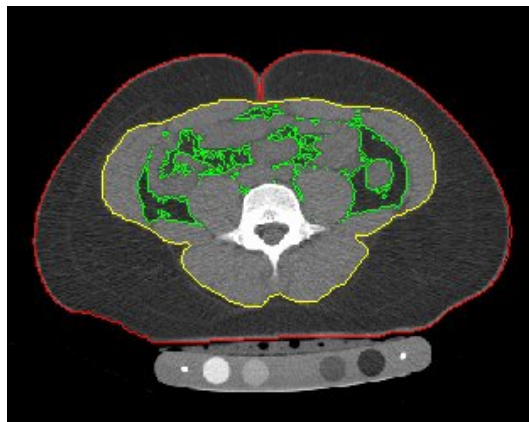
ont montré que la CRP et l'IL-6 étaient associées à un risque accru de diabète (5, 76, 77) et de maladies cardiovasculaires (78). Donc, l'inflammation sub-clinique pourrait constituer un lien important entre l'obésité et ses complications telles que la résistance à l'insuline (79), le diabète (80, 81), l'hypertension artérielle (82, 83) et la dyslipidémie (84, 85). Dans ce chapitre, nous aborderons la relation entre la distribution du tissu adipeux et l'inflammation ainsi que les effets de l'exercice sur l'inflammation.

## 2.1 Distribution du tissu adipeux et inflammation

Il a été proposé que la distribution du tissu adipeux soit une notion importante afin de bien comprendre la relation entre l'obésité et ses complications métaboliques (86). En effet, il a été montré que l'obésité abdominale est fortement associée à un risque accru de développer le diabète et une maladie coronarienne (87, 88). Le tissu adipeux abdominal est composé du tissu adipeux sous-cutané et du tissu adipeux viscéral. Le tissu adipeux abdominal peut être mesuré par des outils simples, tels que les plis cutanés ou le tour de taille. Cependant, ces outils ne fournissent qu'une estimation de la proportion du tissu adipeux abdominal et ne permettent pas de distinguer le tissu adipeux viscéral du tissu adipeux sous-cutané (89). Les techniques d'imagerie, telle que la tomographie axiale, permettent de quantifier le tissu adipeux viscéral et sous-cutané. La **Figure 10** montre le tissu adipeux sous-cutané et viscéral mesurés par tomographie axiale. Le tissu adipeux sous-cutané est délimité par la ligne rouge et la ligne jaune tandis que le tissu adipeux viscéral est identifié en vert.

Le tissu adipeux viscéral est associé à plusieurs composantes du syndrome métabolique : l'intolérance au glucose, l'hypertension artérielle, la dyslipidémie et la résistance à l'insuline (90) de même qu'aux marqueurs inflammatoires. En effet, deux études ont rapporté que le tissu adipeux viscéral, mesuré par tomographie axiale, était positivement associé aux concentrations plasmatiques de CRP et IL-6 (3, 4). De plus, Fried et al. (91) ont montré que la production d'IL-6 était trois fois plus élevée dans le tissu adipeux viscéral que dans le tissu adipeux sous-cutané. Le tissu adipeux viscéral

présente d'autres caractéristiques telle qu'une activité lipolytique intense qui accroît la concentration des acides gras libres dans le tronc porte ce qui pourrait amplifier l'action des cytokines sur le foie et conséquemment la production de marqueurs inflammatoires par celui-ci (92).



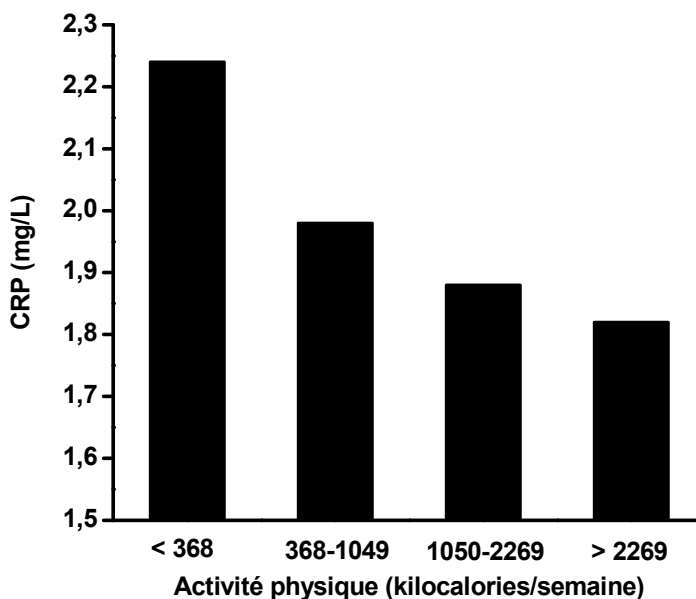
**Figure 10.** Image d'une coupe de l'abdomen au niveau de la vertèbre L4 (Musculoskeletal Imaging Research Core, Massachusetts General Hospital).

Ces études suggèrent que le tissu adipeux viscéral contribue à l'inflammation sub-clinique observée dans l'obésité. Ainsi, une réduction de la quantité du tissu adipeux viscéral pourrait avoir un impact positif sur les concentrations sanguines des marqueurs inflammatoires.

## 2.2 Exercice et inflammation

Les niveaux d'activité physique sont négativement associés aux concentrations de plusieurs marqueurs inflammatoires (93-96). D'ailleurs, Geffken et al. (95) ont étudié la relation entre l'activité physique et les marqueurs inflammatoires chez des personnes âgées en santé. Dans cette étude, la cohorte était divisée en quartiles selon la dépense énergétique liée à l'activité physique. Ils ont observé que l'activité physique était significativement associée à des niveaux abaissés de marqueurs inflammatoires, incluant la CRP (95) (**Figure 11**). Similairement, Ford (94) a montré

que l'activité physique était négativement associée à la concentration de la CRP dans un échantillon représentatif de la population adulte des États-Unis.



**Figure 11.** Concentration de la CRP selon les quartiles d'activité physique (adapté de Geffken et al. 2001)

Il est également important de comparer les effets de différents types d'exercice sur les marqueurs inflammatoires, c'est-à-dire l'entraînement en endurance et en résistance. Tsukui et al. (97) ont évalué les effets d'un programme d'entraînement en endurance d'une intensité modérée sur les niveaux sériques de TNF- $\alpha$ . Quarante et une femmes âgées entre 41 et 69 ans ont participé à ce programme d'entraînement d'une durée de cinq mois. Les participantes devaient s'entraîner durant 30 à 45 minutes à raison de quatre à cinq fois par semaine. Les résultats de cette étude ont montré qu'un programme d'entraînement en endurance d'une intensité modérée engendrait une diminution importante et significative des niveaux de TNF- $\alpha$ .

Une seconde étude a investigué les effets d'un programme d'entraînement en endurance d'une durée de 20 semaines sur la concentration de la CRP chez des individus ayant des niveaux élevés de ce marqueur inflammatoire (98). Ce programme



d'entraînement impliquait trois sessions de vélo stationnaire par semaine. Une réduction significative des niveaux de CRP a été observée suite au programme d'entraînement.

Marcell et al. (99) ont également évalué les effets de l'exercice en endurance sur les niveaux de la CRP chez des individus en surpoids dont l'âge moyen était de 45 ans. Le programme d'entraînement consistait en 30 minutes d'activité physique par jour, cinq jours par semaine. Les participants étaient assignés à un des deux groupes suivants pour 16 semaines : 1) Programme d'entraînement à intensité modérée: 30 minutes d'activité physique à tous les jours; 2) Programme d'entraînement à intensité élevée: entraînement à 80-90 % du rythme cardiaque calculé selon l'âge, 30 minutes par jour, cinq fois par semaine. Contrairement aux deux études précédentes, Marcell et al. (99) n'ont pas observé de changement significatif dans les niveaux de la CRP après seize semaines d'entraînement en endurance et ce, même avec le programme d'entraînement à intensité élevée.

L'objectif de l'étude de Kohut et al. (100) était de déterminer quel type d'exercice réduisait les niveaux des marqueurs inflammatoires chez des individus âgés entre 64 et 87 ans. Les participants étaient randomisés dans un des deux groupes suivants pour dix mois : 1) Entraînement en endurance; 2) Entraînement en résistance. Les participants s'entraînaient trois jours par semaine, à raison de 45 minutes par session. Ils ont observé que les niveaux d'IL-6 et de CRP s'amélioraient seulement avec l'entraînement en endurance (100). Par contre, une réduction des concentrations de TNF- $\alpha$  était notée dans les deux groupes, mais il y avait tout de même une tendance vers une réduction plus importante du TNF- $\alpha$  dans le groupe entraînement en endurance.

Olson et al. (101) ont aussi évalué les effets d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée d'un an sur les marqueurs inflammatoires chez des femmes en surpoids âgées entre 24 et 44 ans. Les participantes étaient assignées au groupe entraînement en résistance ou au groupe contrôle. Après un an, une réduction

significative de la CRP était observée avec l'entraînement en résistance, mais pas dans le groupe contrôle. Cependant, il n'y avait aucun changement significatif pour l'IL-6 dans les deux groupes.

Une troisième étude a investigué les effets de l'entraînement en résistance sur les marqueurs inflammatoires chez des individus obèses (102). Dans cette étude, les marqueurs inflammatoires ont été mesurés chez douze hommes obèses avant et après trois mois d'entraînement en résistance. Klimcakova et al. (102) n'ont observé aucun changement significatif dans les concentrations sanguines de la CRP, l'IL-6 et le TNF- $\alpha$  après trois mois d'entraînement en résistance.

Finalement, Stewart et al. (103) ont examiné les effets d'un programme d'entraînement d'une durée de douze semaines sur les cytokines inflammatoires. Le programme d'entraînement comprenait des exercices en endurance ainsi que des exercices en résistance. Les participants, âgés entre 18 et 85 ans, s'entraînaient trois fois par semaine. Stewart et al. (103) ont observé une réduction significative de 58 % des niveaux de la CRP après les douze semaines d'entraînement. Par contre, aucun changement significatif n'était noté pour l'IL-6 et le TNF- $\alpha$ .

Les résultats de l'ensemble de ces études suggèrent que l'exercice a un effet bénéfique sur le profil inflammatoire. La présence de discordance au niveau des résultats entre les études pourrait être expliquée par, entre autres, la population étudiée (femmes vs. hommes, jeunes individus vs. personnes âgées), la fréquence, l'intensité ainsi que la durée du programme d'entraînement. Le moment auquel est effectué le prélèvement sanguin est aussi important puisqu'il a été montré qu'après une séance d'exercice, on observe une augmentation transitoire de certaines cytokines alors qu'à l'opposé les bénéfices d'un programme d'entraînement disparaissent en quelques jours (104).

De plus, l'efficacité de l'exercice dans la prévention et le traitement des maladies cardiovasculaires et métaboliques pourraient être, en partie, expliqué par l'effet anti-inflammatoire de l'exercice. D'ailleurs, il a été montré qu'une réduction des niveaux

de la CRP de l'ordre de 1 à 2 mg/L était associée à une diminution significative du risque de maladies cardiovasculaire et de diabète de type 2 (98).

## Chapitre 3

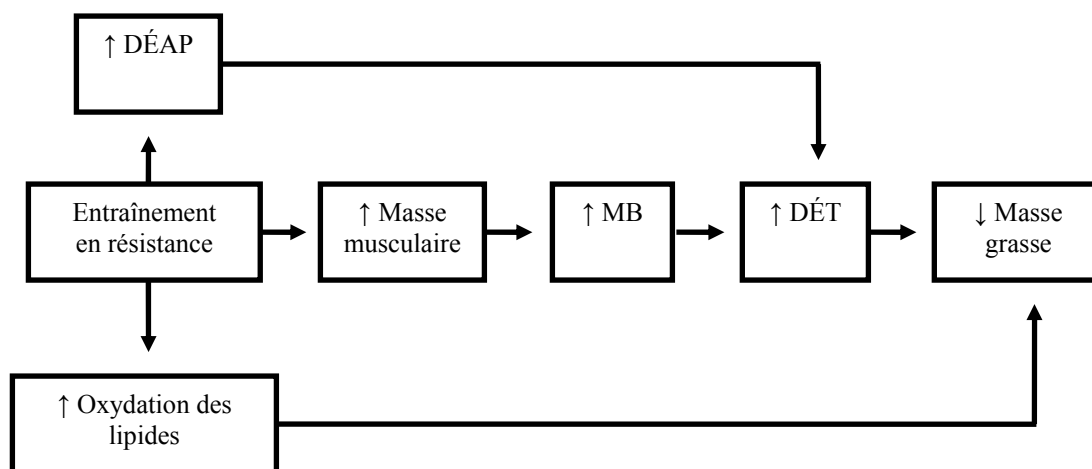
### Bénéfices de l'entraînement en résistance

L'entraînement en résistance, ou entraînement musculaire, implique l'activation de muscles squelettiques spécifiques contre une résistance extérieure, fournie par des poids libres ou des appareils d'entraînement (105). Il a été rapporté que l'entraînement en résistance prévient l'ostéoporose, la sarcopénie (perte de masse musculaire associée au vieillissement) ainsi que les chutes et fractures associées à ces deux conditions médicales (106-108). De plus, il a été récemment montré que l'entraînement en résistance a des effets positifs sur la sensibilité à l'insuline (109), le métabolisme de repos (110, 111), le métabolisme du glucose (109) et la pression artérielle (112, 113). Tel que décrit dans le premier chapitre, plusieurs études ont évalué l'effet potentiel de l'entraînement en endurance dans la prévention du regain de poids. Par contre, l'entraînement en résistance n'a pas été intensivement étudié dans le contexte d'un programme de maintien de la perte de poids. Ceci est partiellement dû au fait que le coût énergétique de l'entraînement en résistance est faible, c'est-à-dire entre 150 et 200 kilocalories par séance. Cependant, l'entraînement en résistance pourrait prévenir le regain de poids grâce à des effets positifs sur la masse musculaire, le métabolisme de repos, la force musculaire et l'activité physique. Le présent chapitre porte sur les effets de l'entraînement en résistance sur la composition corporelle, la dépense énergétique, la force musculaire et le profil métabolique. La **Figure 12** résume les effets potentiels de l'entraînement en résistance.

#### 3.1 Entraînement en résistance, composition corporelle et force musculaire

L'entraînement en résistance n'est généralement pas associé à une perte de poids. Par contre, des changements au niveau de la masse musculaire et de la masse grasse ont été rapportés dans plusieurs études (111, 114-116). De plus, l'entraînement en résistance est aussi associé à une amélioration qualitative de la fonction musculaire résultant en une augmentation de la force musculaire.

Broeder et al. (114) ont étudié les effets d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée de douze semaines sur la composition corporelle chez quarante-sept hommes âgés entre 18 et 35 ans. Ils ont observé que la masse musculaire augmentait de 3,3 % tandis que la masse grasse diminuait de 11,8 %. En plus des effets positifs sur la composition corporelle, leur étude démontrait que l'entraînement en résistance augmentait la force musculaire du haut du corps de 19,6 % et du bas du corps de 10,3 % (114). Campbell et al. (110) ont également montré que douze semaines d'entraînement en résistance étaient associées à une augmentation de la masse musculaire et à une diminution de la masse grasse. Pareillement à Broeder et al. (114), une augmentation significative de la force musculaire des muscles du haut et du bas du corps suite à l'entraînement était observée dans l'étude de Campbell et al. (110). Plus précisément, l'augmentation de la force musculaire se situait entre 24 % et 92 % dépendamment des exercices.



**Figure 12.** Effets potentiels de l'entraînement en résistance (adapté de Donnelly et al. 2004). Abréviations: DÉAP: dépense énergétique reliée à l'activité physique; MB: métabolisme de base; DÉT: dépense énergétique totale.

Pratley et al. (111) ont évalué l'effet de l'entraînement en résistance sur la masse musculaire et la masse grasse. Dans cette étude, trente-sept hommes âgés entre 50 et 65 ans s'entraînaient trois fois par semaine pendant seize semaines. L'entraînement en résistance était associé à une augmentation de la masse musculaire de l'ordre de 2,6 %

et à une diminution de la masse grasse de 1,9 %. Par contre, aucun changement dans le poids corporel n'était observé. De plus, la force musculaire augmentait de 40 % suite au programme d'entraînement.

Une autre étude a évalué l'impact d'un programme d'entraînement en résistance sur la composition corporelle chez des femmes de poids normal âgées entre 18 et 35 ans (117). Contrairement aux études mentionnées précédemment, cette étude a montré qu'un entraînement en résistance, pratiqué trois fois par semaine durant six mois, était associé à une augmentation du poids corporel et de l'indice de masse corporelle. Le gain de poids provenait d'un gain de masse musculaire de l'ordre de 2 kg après six mois d'entraînement. Cette étude a également montré que la force musculaire augmentait significativement avec l'entraînement en résistance. Par contre, ils n'ont rapporté aucun changement significatif au niveau de la masse grasse totale, du tissu adipeux sous-cutané et viscéral. Cependant, le contenu lipidique musculaire diminuait après l'entraînement en résistance.

Hunter et al. (115) ont évalué l'effet d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée de 25 semaines sur le tissu adipeux abdominal chez quinze femmes et quinze hommes âgés entre 61 et 77 ans. Ils ont montré que les hommes et les femmes réduisaient leur masse grasse et augmentaient leur masse musculaire après un programme d'entraînement en résistance. Par contre, une réduction significative du gras viscéral et sous-cutané était seulement observée chez les femmes.

Finalement, Van Etten et al. (116) ont observé que le poids corporel ne changeait pas après un programme d'entraînement en résistance d'une durée de 18 semaines. L'absence de changement du poids corporel peut s'expliquer par le fait qu'une augmentation de la masse musculaire de 2,1 kg et qu'une diminution de la masse grasse de 2,0 kg étaient notées après le programme d'entraînement.

En résumé, les résultats de ces études suggèrent que l'entraînement en résistance semble être efficace pour induire des changements dans la composition corporelle et

augmenter la force musculaire. De plus, ce type d'entraînement semble être sécuritaire et avantageux pour les individus de tous les âges.

### **3.2 Entraînement en résistance et dépense énergétique**

Tel que mentionné précédemment, la dépense énergétique reliée à l'entraînement en résistance est faible comparativement à l'entraînement en endurance. Cependant, il est possible que l'augmentation de la masse musculaire, induite par l'entraînement en résistance, augmente le métabolisme de repos et ainsi la dépense énergétique totale (118). De plus, l'entraînement en résistance pourrait aussi engendrer une augmentation de l'activité physique. En effet, il serait possible d'observer une augmentation de l'activité physique en réponse à l'augmentation de la force musculaire provoquée par l'entraînement en résistance (118).

Campbell et al. (110) ont observé que le métabolisme de repos augmentait significativement de 6,4 % après douze semaines d'entraînement en résistance lorsque exprimé par rapport au poids corporel. Par contre, lorsque le métabolisme de repos était exprimé par rapport à la masse musculaire, une augmentation non significative de 3,7 % était rapportée. Ces résultats suggèrent donc que l'augmentation du métabolisme de repos observée était expliquée par l'augmentation de l'activité métabolique de la masse musculaire.

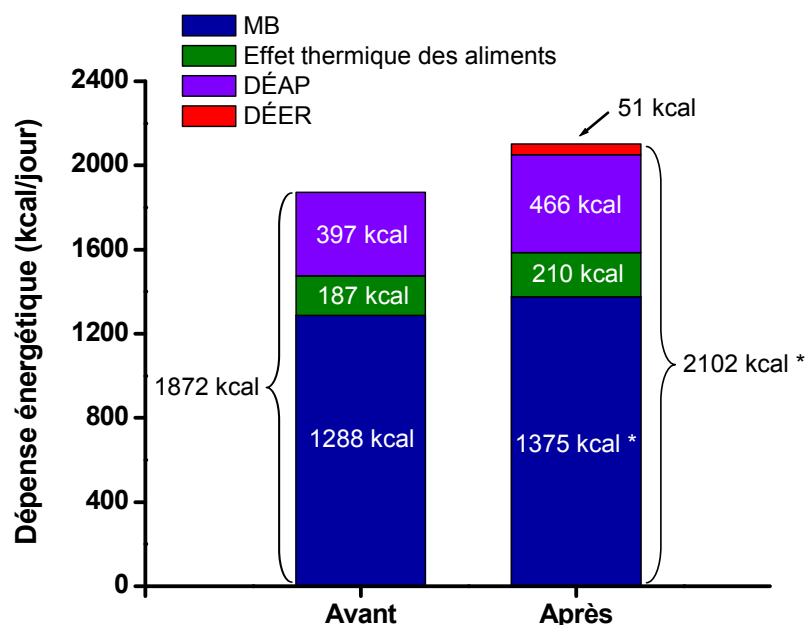
Pratley et al. (111) ont également rapporté une hausse du métabolisme de repos de 7,7 % après seize semaines d'entraînement en résistance. Des résultats similaires étaient observés lorsque le métabolisme de repos était exprimé par rapport au poids corporel. De plus, quand le métabolisme de repos était ajusté pour la masse musculaire, une augmentation significative de 5,2 % était toujours notée. Dans cette étude, l'augmentation du métabolisme de repos avec l'entraînement en résistance peut être partiellement expliquée par l'augmentation de la masse musculaire, mais il est fort possible que d'autres facteurs soient en cause. Par exemple, Pratley et al. (111) ont suggéré que l'entraînement en résistance augmenterait le métabolisme de repos en

stimulant l'activité du système nerveux sympathique puisqu'une hausse des niveaux plasmatiques de norépinéphrine était observée avec l'entraînement.

Contrairement aux études de Campbell et al. (110) et de Pratley et al. (111), Broeder et al. (114) n'ont pas observé une hausse du métabolisme de repos après douze semaines d'entraînement, peu importe si le métabolisme de repos était exprimé par rapport au poids corporel ou à la masse musculaire. Les facteurs pouvant expliquer les différences entre les études sont inconnus. Broeder et al. (114) ont proposé les facteurs suivants : 1) la méthode utilisée pour normaliser le métabolisme de repos lorsque des différences dans la composition corporelle sont observées entre des groupes ou dans le temps; 2) des différences dans le nombre de sujets et la puissance statistique; 3) le temps entre la mesure du métabolisme de repos et la dernière séance d'entraînement; 4) des facteurs génétiques; 5) des erreurs de mesure; 6) l'intensité, la durée et la fréquence de l'entraînement; 7) des différences au niveau du volume d'entraînement entre la mesure pré- et post-entraînement et 8) le niveau de forme physique initial des participants. De plus, la méthode utilisée pour mesurer le métabolisme de repos pourrait certainement expliquer les différences entre certaines études.

Hunter et al. (119) ont évalué l'effet de vingt-six semaines d'entraînement en résistance sur la dépense énergétique totale, la dépense énergétique reliée à l'activité physique et le nombre de minutes d'exercice par jour chez huit femmes et sept hommes âgés entre 61 et 77 ans. Les résultats de cette étude ont montré que malgré une augmentation de la dépense énergétique reliée à l'activité physique de 120 kilocalories par jour après vingt-six semaines d'entraînement, ce changement n'était pas significatif. Cependant, le nombre de minutes d'exercice augmentait de 37 minutes par jour. De plus, une hausse significative de la dépense énergétique totale de 230 kilocalories par jour était observée après le programme d'entraînement. L'augmentation de la dépense énergétique totale était associée à des hausses du métabolisme de repos et de l'activité physique (**Figure 13**).





**Figure 13.** Composantes de la dépense énergétique totale avant et après 26 semaines d'entraînement en résistance (adapté de Hunter et al. 2000). \* Significativement différent des valeurs avant le programme d'entraînement en résistance ( $p < 0,05$ ). Abréviations: MB: métabolisme de base; DÉAP: dépense énergétique liée à l'activité physique; DÉER: dépense énergétique liée à l'entraînement en résistance.

En plus d'augmenter la dépense énergétique totale, l'entraînement en résistance pourrait aussi hausser l'utilisation des lipides comme source d'énergie. Par exemple, Treuth et al. (120) ont rapporté une diminution significative du quotient respiratoire après seize semaines d'entraînement en résistance chez des femmes âgées. Cette diminution entraînait une augmentation de l'oxydation des lipides qui passait de 42 à 81 grammes par jour.

Donc, malgré le fait que la dépense énergétique associée à l'entraînement en résistance soit faible comparativement à l'entraînement en endurance et que les changements dans la dépense énergétique quotidienne soient modestes, l'entraînement en résistance pourrait contribuer au contrôle du poids corporel.

### 3.3 Entraînement en résistance et profil métabolique

L'entraînement en résistance peut induire des changements favorables au niveau de la composition corporelle, de la dépense énergétique et de l'oxydation des substrats. On peut donc émettre l'hypothèse que ces changements favorables entraîneront des effets positifs sur le profil métabolique, c'est-à-dire, sur la sensibilité à l'insuline, les lipides sanguins et la pression artérielle.

L'objectif de l'étude de Ryan et al. (121) était de déterminer l'effet de seize semaines d'entraînement en résistance sur l'action de l'insuline chez quinze femmes obèses post-ménopausées âgées entre 50 et 69 ans. Ils ont observé que l'entraînement en résistance améliorait l'action de l'insuline de 16 % lors des 20 dernières minutes d'un clamp hyperglycémique (121).

Une autre étude a évalué l'effet d'un programme d'entraînement en résistance d'une durée de six mois sur la sensibilité à l'insuline chez des femmes de poids normal âgées entre 18 et 35 ans (117). Après six mois d'entraînement en résistance, une augmentation significative de la sensibilité à l'insuline était observée lorsqu'elle était normalisée par kilogramme de poids. Cependant, lorsque la sensibilité à l'insuline était exprimée par rapport à la masse musculaire, aucun changement n'était noté. Les auteurs de cette étude ont donc suggéré que l'augmentation de la masse musculaire via l'entraînement en résistance contribuait à l'amélioration de la sensibilité à l'insuline, probablement par un effet de masse, sans altérer la capacité intrinsèque du muscle à répondre à l'insuline.

Les résultats de ces deux études montrent que l'entraînement en résistance augmente l'action de l'insuline et réduit l'hyperinsulinémie. Ceci suggère que ce type d'entraînement pourrait améliorer et probablement prévenir le développement de la résistance à l'insuline et ainsi réduire le risque de développer des pathologies telle que le diabète de type 2.

De plus, plusieurs études ont observé des changements au niveau des lipides sanguins après un programme d'entraînement en résistance. Par exemple, Falhman et al. (122) ont examiné les effets de dix semaines d'entraînement en résistance à raison de 3 fois par semaine sur les niveaux plasmatiques de lipoprotéines chez des femmes âgées entre 70 et 87 ans. Les résultats de cette étude ont montré que cet entraînement induisait une hausse significative du HDL-cholestérol et une baisse significative des triglycérides.

Une seconde étude a évalué les effets d'un programme d'entraînement en résistance de haute intensité d'une durée de seize semaines sur les concentrations sanguines de lipoprotéines. Hurley et al. (123) ont observé que leur programme d'entraînement diminuait le LDL-cholestérol de 5 % et le ratio cholestérol total sur HDL-cholestérol de 8 %. Cependant, Kokkinos et al. (124, 125) n'ont observé aucun changement dans les concentrations des lipoprotéines. En effet, ils ont rapporté que vingt semaines d'entraînement en résistance n'induisaient aucun changement significatif dans les concentrations plasmatiques de cholestérol total, HDL-cholestérol, triglycérides et LDL-cholestérol (124).

Martel et al. (113) ont évalué les effets d'un programme d'entraînement en résistance de haute intensité sur la pression artérielle au repos chez des femmes et des hommes âgés. Après six mois d'entraînement en résistance, une réduction de la pression artérielle systolique de l'ordre de 7 mmHg était observée chez les hommes seulement.

Finalement, une méta analyse de 11 études ayant porté sur les effets de l'entraînement en résistance sur la pression artérielle a permis de conclure que ce type d'entraînement diminuait légèrement la pression artérielle systolique et diastolique (112). Toutefois, il a été montré que de tels changements sont suffisants pour réduire le risque de maladie coronarienne et d'accidents cérébrovasculaires (126). Cet effet positif sur la pression artérielle est d'autant plus intéressant puisque l'entraînement en résistance peut induire, lors de la réalisation des exercices, des poussées hypertensives (127).

En conclusion, malgré le fait que les résultats des études soient parfois contradictoires en ce qui concerne les niveaux plasmatiques des lipoprotéines, les données sont concordantes pour l'amélioration de la sensibilité à l'insuline et de la pression artérielle. Il est donc possible de suggérer que ce type d'exercice puisse réduire le risque de développer le diabète de type 2 ou une maladie cardiovasculaire.

### **3.4 Recommandations pour l'entraînement en résistance**

Le American College of Sports Medicine a recommandé qu'un entraînement en résistance soit pratiqué trois fois par semaine par tous les adultes en santé. Les exercices doivent faire travailler les muscles du haut et du bas du corps et être performés d'une manière lente et contrôlée afin de réduire les risques de blessures. Ces recommandations entraînent des gains de la force musculaire, mais qui ne sont peut-être pas suffisants pour avoir un effet sur la masse musculaire. Un entraînement plus intensif serait nécessaire pour augmenter la masse musculaire afin de maximiser le recrutement et conséquemment l'hypertrophie des fibres musculaires (118). De plus, le American College of Sports Medicine insiste sur le fait que de tels exercices sont sécuritaires et recommandés y compris pour les patients en réhabilitation cardiaque tant en post-infarctus qu'en insuffisance cardiaque.

## Chapitre 4

### Objectifs de l'étude

À notre connaissance, peu d'études ont porté sur l'effet de l'entraînement en résistance sur le regain de poids et le profil inflammatoire. Le premier objectif de cette étude était donc de déterminer:

1. Si un programme d'entraînement en résistance débuté après une perte de poids prévient le regain de poids et majore l'amélioration du profil inflammatoire.

De plus, un second objectif de cette étude était de déterminer:

2. Si la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral est associée aux marqueurs inflammatoires.

Cette étude fait partie d'un projet de recherche plus large du Montréal Ottawa New Emerging Team (MONET) intitulé «Facteurs métaboliques et génétiques prédisant le regain de poids chez les femmes post-ménopausées et obèses». Le projet de recherche a eu lieu au Laboratoire des Dysfonctions Métaboliques de l'Université de Montréal sous la direction du D<sup>f</sup> Rémi Rabasa-Lhoret.

En tant qu'étudiante à la maîtrise, mon rôle dans cette étude consistait à participer à la collecte des données métaboliques, telles que la composition corporelle, la sensibilité à l'insuline ainsi que le métabolisme de repos. De plus, j'ai activement participé à l'entrée, la vérification, la validation et l'analyse des données.

## **Chapitre 5**

### **Hypothèses**

Puisqu'il a été montré que l'entraînement en résistance a un impact positif sur la masse musculaire, la force musculaire ainsi que sur la dépense énergétique, notre première hypothèse est la suivante :

1. Un programme d'entraînement en résistance débuté après une perte de poids favorisera le maintien de la perte de poids. De plus, l'entraînement en résistance permettra le maintien d'un profil inflammatoire favorable.

En se basant sur les études publiées portant sur la relation entre le tissu adipeux viscéral et plusieurs marqueurs inflammatoires, notre seconde hypothèse est la suivante :

2. La variation de la quantité de tissu adipeux viscéral sera positivement corrélée aux concentrations sériques des marqueurs inflammatoires.

## Chapitre 6

### Méthodologie

#### 6.1 Critères d'inclusion

Les critères suivants devaient être respectés afin d'être éligible pour l'étude :

- 1) Avoir un indice de masse corporelle  $\geq 27 \text{ kg/m}^2$
- 2) Être âgée entre 50 et 70 ans
- 3) Pas de menstruations depuis plus d'un an et une hormone folliculo-stimulante  $\geq 30 \text{ U/litres}$
- 4) Être sédentaire (< 2 heures par semaine d'exercices structurés)
- 5) Être non-fumeuse
- 6) Consommer moins de 2 boissons alcoolisées par jour
- 7) Ne pas avoir une maladie inflammatoire
- 8) Ne pas utiliser une thérapie de remplacement hormonal à l'exception de l'hypothyroïdie

Suite aux tests biologiques et à l'examen physique, les femmes étaient exclues de l'étude si elles présentaient un des ces facteurs:

- 1) Diabète de type 2 (glucose plasmatique à jeun  $> 7,0$  et/ou  $> 11,0 \text{ mmol/L}$  après une charge de 75 g de glucose)
- 2) Hyperlipidémie (cholestérol total  $> 8 \text{ mmol/L}$  ; triglycérides  $> 4 \text{ mmol/L}$ ) ou hypertension artérielle ( $> 160/100 \text{ mmHg}$ ) justifiant un traitement pharmacologique rapide
- 3) Maladies cardiovasculaires
- 4) Maladie thyroïdienne non traitée
- 5) Maladie hépatique ou rénale (vérification du bilan hépatique et de la créatinine)
- 6) Asthme ou autre pathologie nécessitant un traitement aux stéroïdes

- 7) Anorexie nerveuse
- 8) Variations de poids de  $\pm 2$  kg durant les 3 derniers mois,
- 9) Limitations orthopédiques
- 10) Prise de médicaments pouvant affecter le métabolisme.

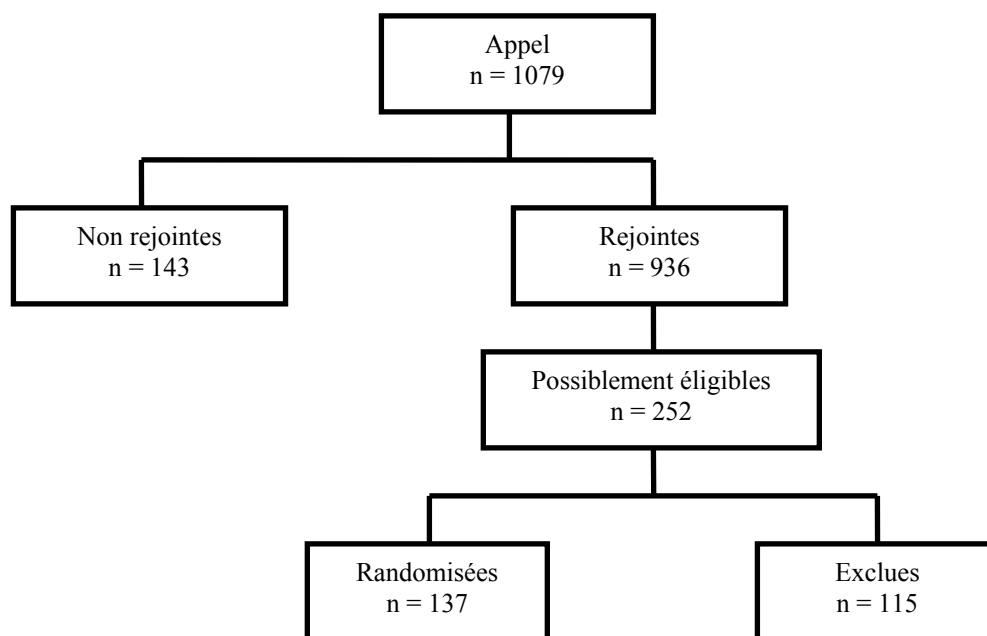
## 6.2 Sujets

Les sujets ont été recrutés de mai 2003 à novembre 2006 via la publication d'annonces dans plusieurs journaux (Le Devoir, La Presse, Le Journal de Montréal, Métro, Forum). Au total, 1079 femmes ont répondu aux différentes annonces. De ces 1079 femmes, 936 ont été rejointes par téléphone et 252 étaient possiblement éligibles à participer à l'étude. Parmi ces 252 femmes, certaines ne se sont pas présentées, d'autres ont été exclues à la suite de la visite médicale ou se sont désistées puisqu'elles ne pouvaient se déplacer à l'Université de Montréal assez fréquemment pour suivre l'intervention proposée. Ainsi, 137 femmes rencontraient les critères d'inclusion et ont accepté de participer à l'étude (**Figure 14**). Toutes les patientes ayant participé à cette étude ont signé un formulaire de consentement. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Montréal.

À la suite de leur inclusion dans l'étude, les sujets étaient invités au Laboratoire des Dysfonctions Métaboliques afin de se soumettre à une série de tests (composition corporelle, sensibilité à l'insuline, dépense énergétique, capacité aérobie) répartie sur un mois. Les sujets étaient ensuite randomisés dans un des deux groupes suivants pour six mois : restriction calorique seule ou restriction calorique avec entraînement en résistance. Ce segment de l'étude avait pour but d'évaluer l'efficacité de l'entraînement en résistance dans l'amélioration de la perte de poids. Suite à la période de perte de poids de six mois, les sujets revenaient au laboratoire afin d'effectuer la deuxième série de tests. Après coup, les sujets, qui avaient été initialement randomisés dans le groupe restriction calorique seule, étaient randomisés pour une seconde fois dans un des deux groupes suivants pour douze mois : contrôle ou entraînement en résistance. Cette portion de l'étude avait pour objectif de

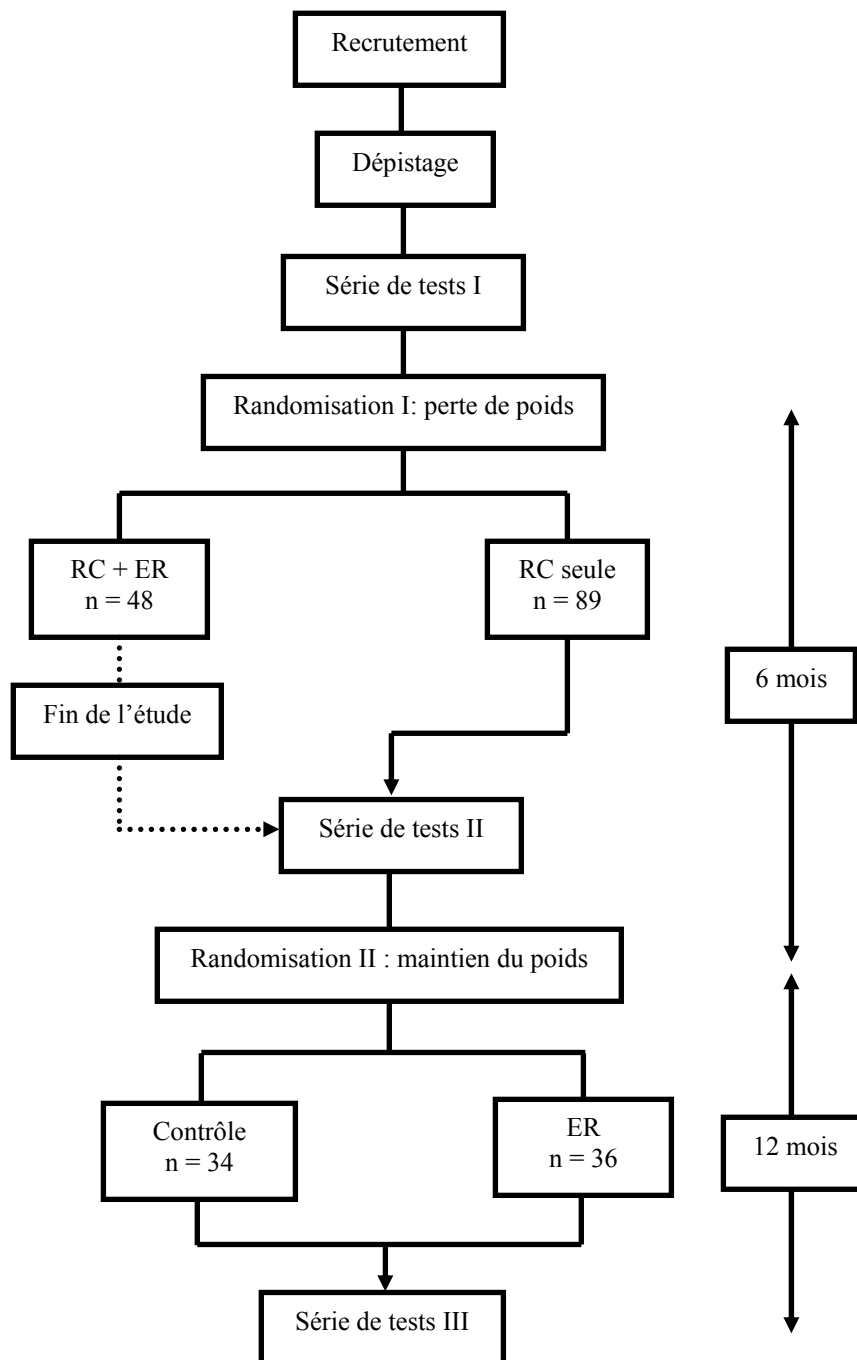


déterminer si l'entraînement en résistance prévenait le regain de poids. Pendant cette partie de l'étude, les deux groupes ne recevaient pas de conseils nutritionnels mis à part ceux reçus lors de la série de tests II. De plus, il était recommandé aux sujets du groupe contrôle de maintenir leur niveau d'activité physique usuel. Quand la période de maintien du poids de douze mois était complétée, les sujets revenaient pour une dernière fois au laboratoire pour effectuer la troisième et dernière série de tests. La **Figure 15** illustre la structure de l'étude.



**Figure 14.** Schéma du recrutement de l'étude

Les trois séries de tests étaient toutes précédées d'une période de stabilisation du poids corporel d'une durée d'un mois. La stabilité du poids corporel à l'intérieur de deux kilogrammes était vérifiée en effectuant une pesée hebdomadaire au laboratoire durant trois semaines.



**Figure 15.** Structure de l'étude. Abréviations: RC: restriction calorique; ER: entraînement en résistance.

### **6.3 Entraînement en résistance**

Durant les six premiers mois du programme, les sujets s'entraînaient trois jours non consécutifs par semaine à la salle d'entraînement du laboratoire alors que la fréquence d'entraînement était réduite à deux jours non consécutifs par semaine pour les six derniers mois du programme. L'intensité de l'entraînement correspondait à approximativement 70 % à 80 % de la répétition maximale. Toutes les séances d'entraînement débutaient par une marche à faible intensité sur un tapis de course pendant dix minutes. Chaque séance d'entraînement était individuellement contrôlée afin d'assurer une progression maximale. Le programme d'entraînement en résistance comprenait les exercices suivants: 1) extension des membres inférieurs; 2) développé assis; 3) traction verticale à la poulie; 4) développé vertical; 5) flexion des avant-bras; 6) extension des avant-bras. Chaque participante devait accomplir une certaine amplitude de mouvement dans les exercices et tentait, pour chaque série (n = 3 à 4), de respecter cette amplitude de mouvement en ajustant la charge afin d'effectuer le nombre de répétitions demandé (n = 10 à 12). Les périodes de repos étaient de 60 à 90 secondes entre les séries. Les séances d'entraînement étaient supervisées par des entraîneurs qualifiés.

### **6.4 Variables**

#### Composition corporelle

Le poids corporel, la masse maigre ainsi que la masse grasse ont été mesurés par absorptiométrie double énergie à rayons X (General Electric Lunar Corporation version 6.10.019, Madison, USA). Durant ce test, le sujet était allongé sur la table d'examen et un rayon X à faible intensité balayait le corps pendant 10 minutes. De plus, le tissu adipeux viscéral et le tissu adipeux sous-cutané abdominal ont été évalués par tomographie axiale (General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI). Pour ce test, les sujets étaient examinés dans une position couchée avec les bras étirés au-dessus de la tête. La position de l'émetteur de rayons X était établie au niveau de la

vertèbre L4-L5. Le tissu adipeux viscéral était quantifié en délimitant l'aspect postérieur du corps vertébral et la cavité intra abdominale au niveau de la face interne des muscles abdominaux et obliques. Le tissu adipeux sous-cutané a, quant à lui, été déterminé en quantifiant le tissu adipeux situé entre la surface cutanée et la face externe des muscles abdominaux.

### Marqueurs inflammatoires

Un échantillon de sang veineux était recueilli après un jeûne de 12 heures afin de mesurer les concentrations sériques des marqueurs inflammatoires. Les niveaux sériques de la protéine C-réactive ultra-sensible (CRP<sub>us</sub>), de l'haptoglobine et de l'orosomucoïde ont été mesurés par immunonéphélométrie en utilisant un analyseur IMMAGE (Beckman-Coulter, Villepinte, France).

### **6.5 Analyses statistiques**

Le programme SPSS (version 16.0; SPSS Inc., Chicago, IL) a été utilisé pour effectuer les analyses statistiques. Les résultats sont présentés comme suit : moyenne  $\pm$  déviation standard. Un ANOVA à mesures répétées a été utilisé pour détecter les changements dans la composition corporelle et les marqueurs inflammatoires après la période de maintien du poids dans les groupes et entre les groupes (interaction temps x groupe). Quand une interaction significative temps x groupe était trouvée, une analyse de *t* était employée pour détecter le changement dans le temps dans chaque groupe. Une analyse de corrélation de Pearson a également été performée pour examiner la relation entre la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral et les marqueurs inflammatoires. Le seuil de signification a été établi à  $p < 0,05$ .

## Chapitre 7

### Article

L'article «Impact of a resistance training program on weight loss maintenance after a caloric restriction in overweight and obese postmenopausal women: a MONET study» est actuellement en révision par les auteurs Martin Brochu, Éric Doucet, Dominique Garrel, Jean-Marc Lavoie, Denis Prud'homme, Irene Strychar et Rémi Rabasa-Lhoret.

#### **Impact of a 12-month resistance training program on weight loss maintenance in overweight and obese postmenopausal women: A MONET study**

Virginie Messier<sup>1,2</sup>, Martin Brochu<sup>3,4</sup>, Éric Doucet<sup>5</sup>, Dominique Garrel<sup>1,2</sup>, Jean-Marc Lavoie<sup>6</sup>, Denis Prud'homme<sup>5</sup>, Irene Strychar<sup>1,7,8</sup> and Rémi Rabasa-Lhoret<sup>1,2,7,8</sup>

<sup>1</sup> *Department of Nutrition, Université de Montréal, Montreal, Canada*

<sup>2</sup> *Institut de recherches cliniques de Montréal (IRCM), Montreal, Canada*

<sup>3</sup> *Faculty of Physical Education and Sports, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Canada*

<sup>4</sup> *Research Center on Aging, Health and Social Services Centre, University Institute of Geriatrics of Sherbrooke, Sherbrooke, Canada*

<sup>5</sup> *School of Human Kinetics, Faculty of Health Sciences, University of Ottawa, Ottawa, Canada*

<sup>6</sup> *Department of kinesiology, Université de Montréal, Montreal, Canada*

<sup>7</sup> *Research Center of the Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CRCHUM), Montreal, Canada*

<sup>8</sup> *Montreal Diabetes Research Center, Montréal, Canada*

## *ABSTRACT*

*Objective:* To examine the effect of a 12-month resistance training program on weight loss maintenance after a 6-month caloric restriction weight loss intervention in overweight and obese postmenopausal women.

*Design:* After a 6-month caloric restriction weight loss program, 71 healthy overweight and obese postmenopausal women, who had lost a mean of 6.0 % of body weight, were randomized to a control group or a resistance training group for a 1-year follow-up maintenance. The resistance training program was performed weekly on 3 non-consecutive days for the first 6 months of the program and on 2 non-consecutive days for the last 6 months. We measured body composition by dual energy X-ray absorptiometry, body fat distribution by computed tomography, insulin sensitivity using the hyperinsulinemic-euglycemic clamp technique, resting metabolic rate by indirect calorimetry, blood pressure, blood lipids, inflammation markers and aerobic capacity.

*Results:* Following weight maintenance, we observed a significant body weight (BW) and fat mass (FM) regain in the control group (BW regain = 1.7 %; FM regain = 4.8 %) and the resistance training group (BW regain = 1.1 %; FM regain = 2.2 %). Significant reductions in orosomucoid and increases in HDL-cholesterol as well as haptoglobin concentrations were noted in both groups ( $p < 0.05$ ). No significant change was observed for other measured parameters.

*Conclusions:* Our results suggest that 12-month of resistance training does not improve weight loss maintenance or the metabolic profile after weight loss in overweight and obese postmenopausal women.

## *INTRODUCTION*

Weight loss studies have shown that a weight loss of 5 % to 10 % of initial body weight has beneficial health benefits such as decreased risk for diabetes and cardiovascular disease (11, 128), improved blood lipids profile and reduced blood pressure (27, 129, 130). However, individuals tend to regain a certain proportion of

their weight loss within 1 to 5 years after the end of the weight-reducing intervention (131). Indeed, a meta-analysis of long-term weight-loss maintenance indicated that weight loss maintenance 4 or 5 years after a structured weight loss intervention averages 3.0 kg or 23 % of initial weight loss, representing a sustained body weight reduction of 3.2 % (132). Thus, weight regain after treatment-induced weight loss remains an important problem for the management of obesity and its complications.

Regular physical activity has been found to be associated with better long-term weight loss maintenance (15, 133). Moreover, most subjects registered in the National Weight Control Registry, a registry of individuals who were successful at long-term weight loss maintenance, reported engaging in about 1 hour per day of moderate intensity physical activity to maintain weight loss (21). Conversely, only 9 % of the subjects reported maintaining weight loss without regular physical activity (21). Physical activity facilitates weight maintenance (15, 21, 133, 134) by increasing energy expenditure and improving physical fitness (135). Physical activity can also improve well-being, which may in turn improve other positive behaviours needed for weight maintenance such as anxiety, depression, body image and personality (136).

Most studies have evaluated the role of aerobic training in weight loss maintenance (47-50, 137) and the results are contradictory. Accordingly, it has been shown that a 40 week aerobic training program consisting of cycling, aqua-jogging and walking did not prevent weight regain in obese men (48, 137). In addition, Pasman et al. (49) showed that a 12-months endurance training program (3-4 times a week) did not result in significantly better weight loss maintenance compared to the control conditions, but the regain in fat mass was significantly lower in the trained group. Furthermore, it has been reported that the inclusion of a walking program into a weight maintenance program improved weight loss maintenance (47, 50).

Little attention has been given to the potential role of resistance training in weight loss maintenance. Resistance training has been shown to be an effective mode of exercise to decrease fat mass (110, 111, 114) and increase muscle mass (110, 111, 114).

Moreover, resistance training may positively affect risk factors such as glucose homeostasis (117, 121), resting metabolic rate (110, 111), total energy expenditure (119, 138) and blood pressure (112, 113). Thus, resistance training may be useful for the maintenance of weight loss and related health benefits. To our knowledge, only one study evaluated the impact of resistance training on body composition and metabolic syndrome components after weight loss (54, 55). That is, Borg et al. (54) showed that resistance training did not improve weight loss maintenance compared to controls, but attenuated the regain of body fat mass in obese men. In addition, Kukkonen-Harjula et al. (55) reported that the changes in metabolic syndrome components were not different between resistance training and the control group except for HDL-cholesterol.

However, the role of resistance training in weight loss maintenance has not been studied in overweight and obese postmenopausal women. Furthermore, the impact of the introduction of resistance training after weight loss on other anthropometric and metabolic parameters such as body fat distribution, insulin sensitivity and energy expenditure has not been examined. Therefore, the purpose of this study was to investigate the impact of a resistance training program introduced after a diet induced weight loss on body composition, body fat distribution, glucose homeostasis, blood lipids, inflammation markers and energy expenditure in overweight and obese postmenopausal women. We hypothesized that resistance training would sustain metabolic benefits induced by weight loss and improve weight loss maintenance.

## *METHODS*

### MONET project

The MONET project (Montreal Ottawa New Emerging Team in Obesity) is designed to investigate the impact of resistance training (RT) on weight loss (6 months) and weight loss maintenance (12 months) as well as on the anthropometric, metabolic and psychosocial profiles in overweight and obese postmenopausal women. This



manuscript presents results on anthropometric and metabolic profiles following the 12-month weight maintenance phase.

### Subjects

This prospective study included 71 sedentary, overweight and obese postmenopausal women, who completed a 6-month weight loss intervention with caloric restriction. Seventy of those subjects were randomized into a control (C) or resistance training (RT) group; one refused randomization. The study was approved by the *Université de Montréal, Comité d'éthique de la Faculté de Médecine*. Data were collected from 2003 to 2006. Baseline inclusion criteria to participate in the 6-month weight loss program were: 1) body mass index  $\geq 27$  kg/m<sup>2</sup>, 2) cessation of menstruation for more than 1 year and follicle-stimulating hormone level  $\geq 30$  U/l, 3) non-smokers, 4) low to moderate alcohol consumption ( $< 2$  drinks/day), 5) free of known inflammatory disease, 6) no use of hormone replacement therapy, and 7) sedentary (less than 2 h per week of structured exercise). Furthermore, on physical examination or biological testing, all participants had no history or evidence of: 1) diabetes (fasting glucose  $> 7.1$  mmol/l or 2-h plasma glucose of  $> 11.1$  mmol/l after a 75-g OGTT), 2) untreated thyroid or pituitary disease, 3) chronic liver or renal disease, 4) asthma requiring therapy with steroids, 5) cardiovascular disease, peripheral vascular disease or stroke, 6) dyslipidaemia or hypertension requiring immediate medical intervention (total cholesterol  $> 8$  mmol/l, systolic blood pressure  $> 160$  mmHg or diastolic blood pressure  $> 100$  mmHg), 7) history of alcohol or drug abuse, 8) abnormal blood laboratory values (haematocrit  $< 32$  or  $> 48\%$ ; creatinine  $> 130$   $\mu$ mol/l), 9) use of medications that could affect cardiovascular function and/or metabolism, 10) body weight fluctuation  $\pm 2$  kg in the last 3 months, 11) known history of inflammatory disease as well as cancer, and 12) orthopaedic limitations.

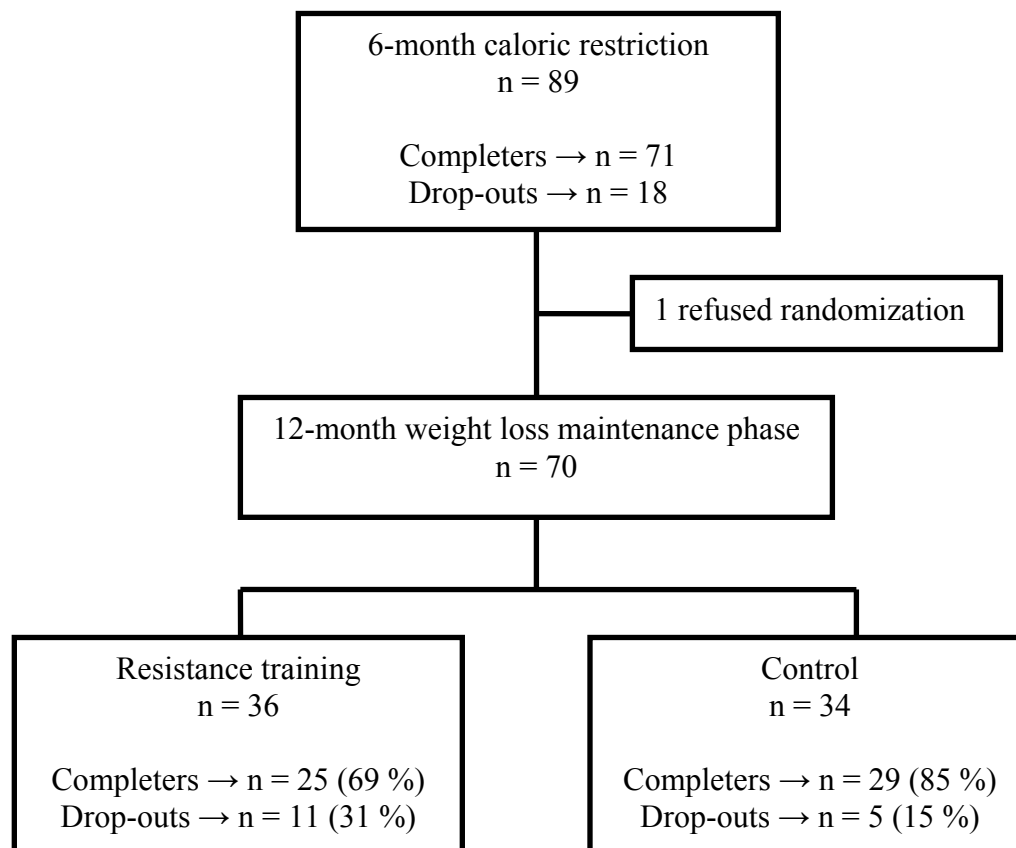
Women were eligible to participate to the weight maintenance phase if they completed the 6-month caloric restriction intervention (without resistance training). Testing periods were preceded by a 1-month weight stabilization period (weight stability within  $\pm 2$  kg was verified by monitoring body weight of each subject on a weekly

basis for one month at our laboratory). Then, anthropometric and metabolic parameters were measured. The weight stabilization period was planned to reduce the acute effects of weight fluctuations on outcome measures (139).

During the weight maintenance program, 16 subjects quit or stop the study yielding a dropout rate of 23 %; the reasons for dropping out included lack of motivation, injury related to strength testing, refused post-testing, and, health problems not related to training. Overall, 5 subjects were lost to follow-up and 3 subjects refused their assigned study group (**Figure 1**). There was no significant difference in the dropout rate between the two groups. Fifty-four subjects were included in the analyses. Pre weight maintenance physical and metabolic characteristics were not different between the groups except for total cholesterol and insulin sensitivity.

#### Resistance training intervention

The 12-month weight loss maintenance resistance training program was performed weekly on 3 non-consecutive days for the first 6 months of the program and on 2 non-consecutive days for the last 6 months. Exercise training was approximately at 70-80 % of 1-repetition maximum. Each training session included a warm-up period consisting of low intensity walking on a treadmill for 10 min. Each exercise session was individually monitored for optimal progression. The resistance program consisted of the following exercises: 1) leg press; 2) chest press; 3) lateral pull downs; 4) shoulder press; 5) arm curls; and 6) triceps extensions. These exercises provide a total body resistance training program for all of the major muscle groups of the body. Each participant was given a target load range and attempted to keep each set ( $n = 3-4$ ) within the target range by adjusting the load to allow the prescribed number of repetitions ( $n = 10-12$ ). Resting periods were 1-1.5 min between sets. The exercise program was supervised by qualified personal trainers. The mean attendance to training sessions was 64 %.



**Figure 1.** Trial profile of the 12-month weight loss maintenance phase

#### Body composition and blood pressure

Standing height was measured using a wall stadiometer (Perspective Enterprises, Portage, USA). Body weight (BW), lean body mass (LBM) and fat mass (FM) were measured using dual energy X-ray absorptiometry (General Electric Lunar Corporation version 6.10.019, Madison, USA). Body mass index [BMI = body weight/height (m<sup>2</sup>)] was calculated. Lying systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) were determined after the subjects rested quietly for 10 min using a Dinamap automatic machine (Welch Allyn Inc., San Diego, USA).

#### Computed Tomography (CT)

A GE High Speed Advantage CT scanner (General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI) was used to measure visceral adipose tissue (VAT) and subcutaneous

adipose tissue (SAT) levels. The subjects were examined in the supine position with both arms stretched above their head. The position of the scan was established at the L4-L5 vertebral disc using a scout image of the body. VAT area was quantified by delineating the intra-abdominal cavity at the internal most aspect of the abdominal and oblique muscle walls surrounding the cavity and the posterior aspect of the vertebral body. The SAT area was quantified by highlighting fat located between the skin and the external most aspect of the abdominal muscle wall.

#### Hyperinsulinemic-euglycemic clamp

The study began at 07h30 after a 12-h overnight fast following the procedure described by DeFronzo et al. (140). An antecubital vein was cannulated for the infusion of 20 % dextrose and insulin (Actrapid®, Novo-Nordisk, Toronto, Canada). The other arm was cannulated for sampling of blood. Three basal samples of plasma glucose and insulin were taken over 40 min. Then, insulin infusion was initiated at the rate of 75 mU/m<sup>2</sup>/min for 180 min. Plasma glucose was measured every 10 min with a glucose analyzer (Beckman Instruments, Fullerton, CA) and maintained at fasting level with a variable infusion rate of 20 % dextrose. Insulin sensitivity (IS) was calculated as the mean rate of glucose infusion measured during the last 30 min of the clamp (steady state) and is expressed as mg/min x kg fat-free mass (FFM).

#### Blood samples

After an overnight fast (12 h), venous blood samples were collected for the measurement of plasma concentrations of total cholesterol (TC), HDL-cholesterol (HDL-C), triglycerides, glucose, insulin and inflammation markers. Analyses were done on the COBAS INTEGRA 400 (Roche Diagnostic, Montreal, Canada) analyzer for TC, HDL-C and triglycerides. TC, HDL-C and triglycerides were used in the Friedewald formula (141) to calculate LDL-cholesterol (LDL-C) concentration. Fasting insulin levels were determined using the mean of three basal values of plasma and measured in duplicate by automated radioimmunoassay (Linco Research Inc., St-Charles, MO, USA). Serum high sensitivity C-reactive protein (hsCRP), orosomucoid

and haptoglobin were assessed by immunonephelometry on IMMAGE analyser (Beckman-Coulter, Villepinte, France).

#### Resting metabolic rate (RMR) assessment

RMR was assessed by indirect calorimetry (SensorMedics Delta Track II, Datex-Ohmeda, Helsinki, Finland) for 40 min (10 min of acclimatization and 30 min of measurements) between 6:30 and 9:00 AM as previously described (142). Subjects were lying down in a hospital bed in a room with minimum noise and light. They were asked to be as immobile and silent as possible.

#### Statistical analysis

Results are presented as mean  $\pm$  standard deviation. A repeated measures ANOVA was performed to observe changes in variables of interest following the weight maintenance program within each group and between the groups (time  $\times$  group interaction). When significant time  $\times$  group interaction was found, we performed t-test analyses to detect the time effect in each group. Significance was accepted at  $p < 0.05$ .

### *RESULTS*

As reported elsewhere, the mean weight loss during the 6-month weight reducing phase was 5.1 kg (6.0 % of initial BW), inducing a 2.0 kg/m<sup>2</sup> (6.0 % of initial BMI) mean decrease in BMI. Moreover, FM decreased by 4.0 kg (11.0 % of initial FM) (data not shown).

Physical characteristics of the 54 subjects who completed the weight loss maintenance phase are presented in **Table 1**. After the 12-month maintenance program, BW regain was not different between the groups: the control group regained 1.2 kg (1.7 %,  $p < 0.05$ ) whereas the resistance training group regained 0.9 kg (1.1 %,  $p < 0.05$ ). Similarly, FM regain during the weight loss maintenance period was not significantly different between the two groups. At the end of weight loss maintenance period, the FM regain was 1.3 kg (4.8 %,  $p < 0.05$ ) for the control group while the regain of FM

was 0.8 kg (2.2 %,  $p < 0.05$ ) for the resistance training group. Moreover, a regain in appendicular FM was observed in the two groups while no regain in trunk FM was noted. There were no significant changes in LBM, VAT and SAT after the weight maintenance phase.

**Table 1.** Changes in body composition following weight maintenance

Variables	Pre weight maintenance		Post weight maintenance	
	Control	RT	Control	RT
BW (kg)	77.2 ± 13.5	76.0 ± 14.0	<b>78.5 ± 13.6 *</b>	<b>77.0 ± 15.4 *</b>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	29.6 ± 3.8	29.5 ± 4.3	<b>30.1 ± 4.0 *</b>	<b>29.9 ± 5.0 *</b>
LBM (kg)	41.5 ± 4.7	41.8 ± 6.5	41.5 ± 5.1	40.8 ± 7.7
Peripheral LBM (kg)	19.2 ± 1.9	19.4 ± 2.9	19.1 ± 2.0	19.7 ± 3.3
Central LBM (kg)	19.0 ± 3.0	19.0 ± 3.9	18.9 ± 3.1	19.0 ± 3.5
FM (kg)	33.3 ± 10.0	31.8 ± 8.6	<b>34.6 ± 9.7 *</b>	<b>32.6 ± 9.7 *</b>
Peripheral FM (kg)	16.7 ± 5.3	16.0 ± 4.3	<b>17.1 ± 4.8 *</b>	<b>16.9 ± 5.2 *</b>
Central FM (kg)	15.6 ± 5.0	14.8 ± 4.9	16.5 ± 5.3	14.8 ± 4.8
VAT (cm <sup>2</sup> )	159.0 ± 57.8	144.5 ± 43.7	163.0 ± 59.4	148.1 ± 56.2
SAT (cm <sup>2</sup> )	409.5 ± 124.6	408.7 ± 117.3	424.2 ± 121.3	408.0 ± 129.0

\* Significant change compared to pre weight maintenance values ( $p < 0.05$ )

**Table 2** shows the metabolic characteristics of the 54 subjects who completed the weight loss maintenance phase. We observed that orosomucoid levels significantly decreased ( $p < 0.05$ ) while HDL-C and haptoglobin concentrations significantly increased in both groups ( $p < 0.05$ ). No significant difference were observed for other metabolic parameters.

**Table 2.** Changes in metabolic profile following weight maintenance

Variables	Pre weight maintenance		Post weight maintenance	
	Control	RT	Control	RT
RMR (kcal/day)	1231 ± 173	1231 ± 206	1216 ± 141	1245 ± 211
SBP (mmHg)	118.2 ± 14.2	120.2 ± 14.4	119.5 ± 14.2	121.0 ± 16.1
DBP (mmHg)	74.3 ± 8.7	74.1 ± 8.1	73.9 ± 8.8	74.3 ± 7.3
TC (mmol/L)	5.12 ± 0.76	5.52 ± 0.95	4.97 ± 0.84	5.51 ± 0.91
HDL-C (mmol/L)	1.41 ± 0.28	1.51 ± 0.38	<b>1.53 ± 0.35 *</b>	<b>1.53 ± 0.41 *</b>
TG (mmol/L)	1.35 ± 0.70	1.51 ± 0.85	1.22 ± 0.54	1.51 ± 0.67
LDL-C (mmol/L)	3.08 ± 0.67	3.32 ± 0.90	2.88 ± 0.71	3.26 ± 0.74
Fasting glucose (mmol/L)	5.19 ± 0.66	5.15 ± 0.46	5.38 ± 0.47	5.29 ± 0.47
IS (mg/min/kg LBM)	11.1 ± 2.9	12.7 ± 2.1	11.3 ± 2.5	13.7 ± 3.2
hsCRP (mg/L)	3.00 ± 2.32	1.75 ± 0.95	2.94 ± 2.02	1.93 ± 1.62
Orosomuroid (g/L)	0.83 ± 0.22	0.78 ± 0.11	<b>0.73 ± 0.19 *</b>	<b>0.70 ± 0.12 *</b>
Haptoglobin (g/L)	1.11 ± 0.39	1.05 ± 0.33	<b>1.23 ± 0.39 *</b>	<b>1.15 ± 0.37 *</b>

\* Significant change compared to pre weight maintenance values ( $p < 0.05$ )

## DISCUSSION

The purpose of this study was to determine if a 12-month resistance training program following a caloric restriction intervention would sustain metabolic benefits induced by weight loss and improve weight loss maintenance in overweight and obese postmenopausal women. Our hypothesis was that weight loss maintenance would be improved by resistance training. Our results do not support our hypothesis since we noted a significant weight regain in both groups. The weight regain observed in our study is lower than what is usually reported. Accordingly, we observed that subjects included in our study regained 19 % of body weight lost which is lower than what has been reported in two reviews indicating that body weight regain was between 30 % and 35 % in the year following the end of a lifestyle modification programme (143, 144).

To our knowledge, only one study investigated whether resistance training improved weight maintenance in obese individuals (54). Borg et al. (54) showed that resistance

training did not improve weight maintenance in obese middle-aged men. However, a significant fat mass regain was observed only in controls suggesting that resistance training may prevent fat mass regain even if our own results do not necessarily support this view.

Our design substantially differ from the one tested in the study by Borg et al. (54). First, the weight maintenance period was of six months whereas ours was twice longer. Thus, it is likely that Borg et al. (54) would have observed a significant fat mass regain after 12 months of resistance training which was not the case after only 6 months. Accordingly, during the non-supervised follow-up, Borg et al. (54) noted that fat mass regain were similar between the controls and the resistance training group. Secondly, Borg et al. (54) studied the effects of resistance training in obese men aged 35 to 50 years old. The fact that it has been reported that for the same training volume, muscle hypertrophy is greater in men than in women (145-147) could likely explain the different responses to resistance training between our study and these previous results.

We did not observe an increase in resting metabolic rate after 12-month of resistance training. Our results are in contrast with those of other studies which have shown that resistance training increased resting metabolic rate (110, 111). Since it has been shown that muscle mass is positively associated with resting metabolic rate (111, 148, 149), it is possible that the absence of change in resting metabolic rate in our study may be partially explained by the fact that we did not observe an increase in lean body mass with resistance training.

We showed that resistance training did not improve total cholesterol, triglycerides, and LDL-cholesterol. However, we observed a significant increase in HDL-cholesterol in both groups, following the weight maintenance period. Fallman et al. (122) also reported a significant increase in HDL-cholesterol after 10 weeks of high-intensity resistance training in elderly women. It has been shown that the improvements in the plasma lipoprotein profile are associated with both the intensity



and the amount of aerobic training (150), this could also be the case for resistance training as well. Moreover, Kukkonen-Harjula (55) proposed that the energy cost of resistance training might be too low for sedentary individuals to induce favourable changes in the lipoprotein profile.

Furthermore, no change in fasting glucose and insulin sensitivity were noted in our study. In contrast to our results, a study reported that resistance training improved glucose and insulin concentrations after weight maintenance, but these results were not different from those of the control group (55). The absence of change in fasting glucose in our study could be explained by the fact that in obese individuals without glucose intolerance, blood glucose levels do not usually improve after training (55). Only 16 subjects out of 89 (18 %) were classified as having impaired glucose tolerance before the beginning of the caloric restriction intervention. Moreover, the absence of improvement in insulin sensitivity in our study could be explained by the fact that our subjects presented already improved levels of insulin sensitivity after weight loss which may have limited the effect of resistance training on this metabolic outcome.

No change in high-sensitive C-reactive protein was observed following the weight maintenance program. Decreases in C-reactive protein with resistance training have been reported in one study (101) but not others (100, 102). In our study, the energy expenditure might have been too low to induce changes in high-sensitive C-reactive protein concentrations. In addition, it has been shown that visceral adipose tissue is positively associated with C-reactive protein (3, 4). The absence of change in high-sensitive C-reactive protein in our study could be explained by the fact that we did not observe a significant change in visceral adipose in both groups. We also observed an increase in haptoglobin levels in both groups following the weight maintenance phase. Chiellini et al. (74) reported that haptoglobin levels were positively correlated with fat mass. However, in our study haptoglobin concentrations were not associated with fat mass. Finally, we noted a significant decrease in orosomucoid concentration in both

groups. This result could suggest that orosomucoid levels are not influenced by weight of fat mass regain.

Others factors could also explain the modest anthropometric and metabolic changes observed in our study. First, the energy expenditure associated with resistance training might have been too small, either because of low total duration (151), intensity and/or frequency, to observe significant improvement in some metabolic parameters. Secondly, attendance to the resistance training program during weight maintenance was only moderate (64 %). Thirdly, we could hypothesize that 12 months of resistance training did not improve metabolic parameters because these latter were already improved after the weight loss intervention or because the subjects included in our study were relatively healthy. Fourthly, it has been shown that some of the effects of exercise on metabolic components might be gender-dependant. Indeed, it has been reported that glucose and insulin metabolism were improved with exercise training in men, but not in women (55).

The present study has some limitations. First, our cohort was composed of relatively “healthy”, non-diabetic overweight and obese postmenopausal women. Secondly, a larger sample size might have been needed to observe the effect of resistance training on anthropometric and metabolic profiles. The important inter-individual variability suggests that a larger population is needed to show potential differences. Nonetheless, our results are strengthened by using gold-standard techniques to measure insulin sensitivity, body composition, and body fat distribution in well-characterized overweight and obese postmenopausal women.

In conclusion, our results suggest that under the conditions described in the present study, resistance training did not improve weight loss maintenance nor did it maintain metabolic benefits compared to the control group. Nonetheless, further studies with larger sample size are needed to examine if resistance training is associated with positive effects in other populations, for example in obese individuals with metabolic

complications, or on other parameters not measured in this study such as hepatic fat (152).

### *Acknowledgements*

The MONET group thanks Lyne Messier (study coordinator, DtP), Diane Mignault (mass spectrometry technician), Maxime St-Onge, Benoit Tousignant and Philippe Carrier (trainers) and the patients for their exceptional involvement in this study. This study was supported by grants from the Canadian Institute of Health Research New and Emerging Teams in Obesity (Université de Montréal and University of Ottawa; MONET project). Virginie Messier and Rémi Rabasa-Lhoret are supported by the *Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ)*. Rémi Rabasa-Lhoret is the recipient of the J-A DeSeve Research chair for clinical research. Éric Doucet is a recipient of a CIHR/Merck-Frosst New Investigator Award, a Canadian Foundation for Innovation New Opportunities Award and an Early Research Award (Ontario).

### *REFERENCES*

- 1 Brochu M, Tchernof A, Turner AN, Ades PA, Poehlman ET. Is there a threshold of visceral fat loss that improves the metabolic profile in obese postmenopausal women? *Metabolism* 2003;52:599-604.
- 2 Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler SE, et al. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N Engl J Med* 2002;346:393-403.
- 3 Douketis JD, Macie C, Thabane L, Williamson DF. Systematic review of long-term weight loss studies in obese adults: clinical significance and applicability to clinical practice. *Int J Obes (Lond)* 2005;29:1153-67.
- 4 Franz MJ, VanWormer JJ, Crain AL, et al. Weight-loss outcomes: a systematic review and meta-analysis of weight-loss clinical trials with a minimum 1-year follow-up. *J Am Diet Assoc* 2007;107:1755-67.

- 5 Lau DC, Douketis JD, Morrison KM, Hramiak IM, Sharma AM, Ur E. 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children [summary]. *CMAJ* 2007;176:S1-13.
- 6 Lang A, Froelicher ES. Management of overweight and obesity in adults: behavioral intervention for long-term weight loss and maintenance. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2006;5:102-14.
- 7 Anderson JW, Konz EC, Frederich RC, Wood CL. Long-term weight-loss maintenance: a meta-analysis of US studies. *Am J Clin Nutr* 2001;74:579-84.
- 8 Kayman S, Bruvold W, Stern JS. Maintenance and relapse after weight loss in women: behavioral aspects. *Am J Clin Nutr* 1990;52:800-7.
- 9 Schoeller DA, Shay K, Kushner RF. How much physical activity is needed to minimize weight gain in previously obese women? *Am J Clin Nutr* 1997;66:551-6.
- 10 Wing RR, Hill JO. Successful weight loss maintenance. *Annu Rev Nutr* 2001;21:323-41.
- 11 Crawford D, Jeffery RW, French SA. Can anyone successfully control their weight? Findings of a three year community-based study of men and women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000;24:1107-10.
- 12 Saris WH. Fit, fat and fat free: the metabolic aspects of weight control. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998;22 Suppl 2:S15-21.
- 13 Hughes JR. Psychological effects of habitual aerobic exercise: a critical review. *Prev Med* 1984;13:66-78.
- 14 Fogelholm M, Kukkonen-Harjula K, Nenonen A, Pasanen M. Effects of walking training on weight maintenance after a very-low-energy diet in premenopausal obese women: a randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 2000;160:2177-84.
- 15 Lejeune MP, Van Aggel-Leijssen DP, Van Baak MA, Westerterp-Plantenga MS. Effects of dietary restraint vs exercise during weight maintenance in obese men. *Eur J Clin Nutr* 2003;57:1338-44.
- 16 Pasma WJ, Saris WH, Muls E, Vansant G, Westerterp-Plantenga MS. Effect of exercise training on long-term weight maintenance in weight-reduced men. *Metabolism* 1999;48:15-21.

- 17 Villanova N, Pasqui F, Burzacchini S, et al. A physical activity program to reinforce weight maintenance following a behavior program in overweight/obese subjects. *Int J Obes (Lond)* 2006;30:697-703.
- 18 Van Aggel-Leijssen DP, Saris WH, Hul GB, Van Baak MA. Long-term effects of low-intensity exercise training on fat metabolism in weight-reduced obese men. *Metabolism* 2002;51:1003-10.
- 19 Broeder CE, Burrhus KA, Svanevik LS, Wilmore JH. The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *Am J Clin Nutr* 1992;55:802-10.
- 20 Campbell WW, Crim MC, Young VR, Evans WJ. Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am J Clin Nutr* 1994;60:167-75.
- 21 Pratley R, Nicklas B, Rubin M, et al. Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* 1994;76:133-7.
- 22 Ryan AS, Pratley RE, Elahi D, Goldberg AP. Changes in plasma leptin and insulin action with resistive training in postmenopausal women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000;24:27-32.
- 23 Poehlman ET, Dvorak RV, DeNino WF, Brochu M, Ades PA. Effects of resistance training and endurance training on insulin sensitivity in nonobese, young women: a controlled randomized trial. *J Clin Endocrinol Metab* 2000;85:2463-8.
- 24 Ades PA, Savage PD, Brochu M, Tischler MD, Lee NM, Poehlman ET. Resistance training increases total daily energy expenditure in disabled older women with coronary heart disease. *J Appl Physiol* 2005;98:1280-5.
- 25 Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* 2000;89:977-84.
- 26 Martel GF, Hurlbut DE, Lott ME, et al. Strength training normalizes resting blood pressure in 65- to 73-year-old men and women with high normal blood pressure. *J Am Geriatr Soc* 1999;47:1215-21.

- 27 Kelley GA, Kelley KS. Progressive resistance exercise and resting blood pressure : A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension* 2000;35:838-43.
- 28 Borg P, Kukkonen-Harjula K, Fogelholm M, Pasanen M. Effects of walking or resistance training on weight loss maintenance in obese, middle-aged men: a randomized trial. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002;26:676-83.
- 29 Kukkonen-Harjula KT, Borg PT, Nenonen AM, Fogelholm MG. Effects of a weight maintenance program with or without exercise on the metabolic syndrome: a randomized trial in obese men. *Prev Med* 2005;41:784-90.
- 30 Weinsier RL, Nagy TR, Hunter GR, Darnell BE, Hensrud DD, Weiss HL. Do adaptive changes in metabolic rate favor weight regain in weight-reduced individuals? An examination of the set-point theory. *Am J Clin Nutr* 2000;72:1088-94.
- 31 DeFronzo RA, Tobin JD, Andres R. Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance. *The American journal of physiology* 1979;237:E214-23.
- 32 Friedewald WT, Levy RI, Fredrickson DS. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical chemistry* 1972;18:499-502.
- 33 Faraj M, Messier L, Bastard JP, et al. Apolipoprotein B: a predictor of inflammatory status in postmenopausal overweight and obese women. *Diabetologia* 2006;49:1637-46.
- 34 Wadden TA, Butryn ML, Byrne KJ. Efficacy of lifestyle modification for long-term weight control. *Obes Res* 2004;12 Suppl:151S-62S.
- 35 Weiss EC, Galuska DA, Kettel Khan L, Gillespie C, Serdula MK. Weight regain in U.S. adults who experienced substantial weight loss, 1999-2002. *Am J Prev Med* 2007;33:34-40.
- 36 Bamman MM, Hill VJ, Adams GR, et al. Gender differences in resistance-training-induced myofiber hypertrophy among older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003;58:108-16.

- 37 Ivey FM, Roth SM, Ferrell RE, et al. Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55:M641-8.
- 38 Tracy BL, Ivey FM, Hurlbut D, et al. Muscle quality. II. Effects Of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 1999;86:195-201.
- 39 Illner K, Brinkmann G, Heller M, Bosy-Westphal A, Muller MJ. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000;278:E308-15.
- 40 Muller MJ, Illner K, Bosy-Westphal A, Brinkmann G, Heller M. Regional lean body mass and resting energy expenditure in non-obese adults. *Eur J Nutr* 2001;40:93-7.
- 41 Fahlman MM, Boardley D, Lambert CP, Flynn MG. Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002;57:B54-60.
- 42 Williams PT. Relationships of heart disease risk factors to exercise quantity and intensity. *Arch Intern Med* 1998;158:237-45.
- 43 Olson TP, Dengel DR, Leon AS, Schmitz KH. Changes in inflammatory biomarkers following one-year of moderate resistance training in overweight women. *Int J Obes (Lond)* 2007;31:996-1003.
- 44 Klimcakova E, Polak J, Moro C, et al. Dynamic strength training improves insulin sensitivity without altering plasma levels and gene expression of adipokines in subcutaneous adipose tissue in obese men. *J Clin Endocrinol Metab* 2006;91:5107-12.
- 45 Kohut ML, McCann DA, Russell DW, et al. Aerobic exercise, but not flexibility/resistance exercise, reduces serum IL-18, CRP, and IL-6 independent of beta-blockers, BMI, and psychosocial factors in older adults. *Brain Behav Immun* 2006;20:201-9.
- 46 Piche ME, Lemieux S, Weisnagel SJ, Corneau L, Nadeau A, Bergeron J. Relation of high-sensitivity C-reactive protein, interleukin-6, tumor necrosis factor- $\alpha$ , and fibrinogen to abdominal adipose tissue, blood pressure, and cholesterol and triglyceride levels in healthy postmenopausal women. *Am J Cardiol* 2005;96:92-7.

- 47 Pou KM, Massaro JM, Hoffmann U, et al. Visceral and subcutaneous adipose tissue volumes are cross-sectionally related to markers of inflammation and oxidative stress: the Framingham Heart Study. *Circulation* 2007;116:1234-41.
- 48 Chiellini C, Santini F, Marsili A, et al. Serum haptoglobin: a novel marker of adiposity in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 2004;89:2678-83.
- 49 Saris WH, Blair SN, van Baak MA, et al. How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 2003;4:101-14.
- 50 Pighon A, Paquette A, Barsalani R, et al. Substituting food restriction by resistance training prevents liver and body fat regain in ovariectomized rats. *Climacteric* 2009;12:153-64.



## **Chapitre 8**

### **Résultats**

L'objectif principal de cette étude était de déterminer si un programme d'entraînement en résistance débuté après une perte de poids prévenait le regain de poids et majorait l'amélioration du profil inflammatoire chez des femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses. De plus, l'objectif secondaire de cette étude était de déterminer si la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral était associée aux concentrations des marqueurs inflammatoires. Pour ce faire, les sujets étaient randomisés dans un des deux groupes suivants : 1) Entraînement en résistance ou 2) Contrôle. La composition corporelle ainsi que les marqueurs inflammatoires ont été mesurés avant et après l'intervention de douze mois.

#### **8.1 Taux d'abandon de l'intervention**

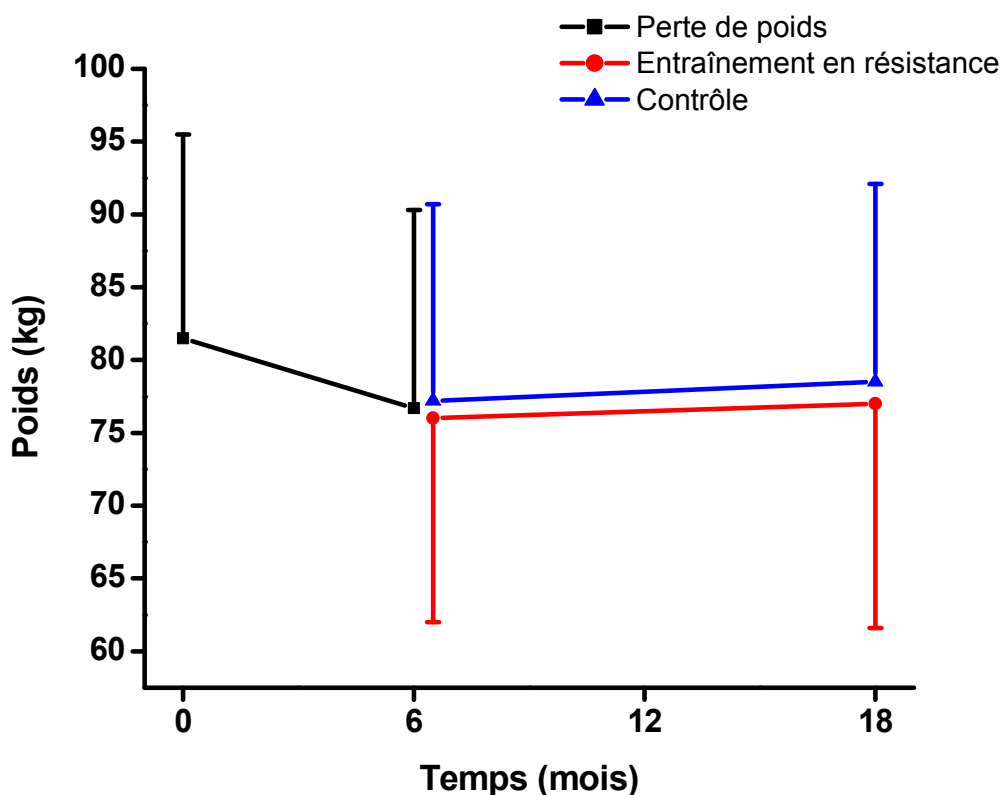
Au cours de l'étude, 16 sujets sur un total de 70 ont abandonné l'étude, entraînant ainsi un taux d'abandon de 23 %. Il n'y avait pas de différence pour la perte de poids durant l'intervention de 6 mois entre les sujets qui ont abandonné et ceux qui ont complété l'étude. Les raisons d'abandon incluaient le manque de motivation, une blessure reliée aux tests de force, le refus d'effectuer les tests et un problème de santé non relié à l'entraînement. Les analyses ont donc été effectuées chez 54 sujets (29 contrôles et 25 sujets du groupe entraînement en résistance).

#### **8.2 Taux d'adhésion au programme d'entraînement**

Le taux d'adhésion au programme d'entraînement se situait entre 12 % et 99 %. Le taux moyen d'adhésion au programme d'entraînement était de 64 %.

### 8.3 Changement dans la composition corporelle suite à l'intervention

Suite à la période de perte de poids d'une durée de 6 mois, les sujets avaient perdu en moyenne 5,1 kg (6,0 % du poids corporel initial), entraînant une diminution de l'indice de masse corporelle de 2,0 kg/m<sup>2</sup> (6,0 % de l'indice de masse corporelle initial). De plus, une perte de masse grasse de 4,0 kg (11,0 % de la masse grasse initiale) était observée. Ces données ne sont pas présentées dans le **Tableau 3**. Il n'y avait pas de différence significative dans la composition corporelle entre les deux groupes avant le début de l'intervention de 12 mois. Le changement dans le poids corporel est illustré dans la **Figure 16**. Suite à l'intervention de 12 mois, le regain de poids n'était pas différent entre les deux groupes: le groupe contrôle avait regagné 1,2 kg (1,7 %,  $p < 0,05$ ) tandis que le groupe entraînement en résistance avait regagné 0,9 kg (1,1 %,  $p < 0,05$ ).



**Figure 16.** Changement dans le poids corporel des 54 sujets ayant complété l'étude

La composition corporelle des sujets ayant complété la phase de maintien du poids est présentée dans le **Tableau 3**.

<b>Tableau 3.</b> Changement dans la composition corporelle suite à l'intervention				
Variables	Pré maintien du poids		Post maintien du poids	
	Contrôle	ER	Contrôle	ER
Poids (kg)	77,2 ± 13,5	76,0 ± 14,0	<b>78,5 ± 13,6 *</b>	<b>77,0 ± 15,4 *</b>
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	29,6 ± 3,8	29,5 ± 4,3	<b>30,1 ± 4,0 *</b>	<b>29,9 ± 5,0 *</b>
MM totale (kg)	41,5 ± 4,7	41,8 ± 6,5	41,5 ± 5,1	40,8 ± 7,7
MM périphérique (kg)	19,2 ± 1,9	19,4 ± 2,9	19,1 ± 2,0	19,7 ± 3,3
MM centrale (kg)	19,0 ± 3,0	19,0 ± 3,9	18,9 ± 3,1	19,0 ± 3,5
MG totale (kg)	33,3 ± 10,0	31,8 ± 8,6	<b>34,6 ± 9,7 *</b>	<b>32,6 ± 9,7 *</b>
MG périphérique (kg)	16,7 ± 5,3	16,0 ± 4,3	<b>17,1 ± 4,8 *</b>	<b>16,9 ± 5,2 *</b>
MG centrale (kg)	15,6 ± 5,0	14,8 ± 4,9	16,5 ± 5,3	14,8 ± 4,8
TAV (cm <sup>2</sup> )	159,0 ± 57,8	144,5 ± 43,7	163,0 ± 59,4	148,1 ± 56,2
TASC (cm <sup>2</sup> )	409,5 ± 124,6	408,7 ± 117,3	424,2 ± 121,3	408,0 ± 129,0
ER : entraînement en résistance				
IMC : indice de masse corporelle				
MM : masse maigre				
MG : masse grasse				
TAV : tissu adipeux viscéral				
TASC : tissu adipeux sous-cutané				
* Gain significatif par rapport aux valeurs post perte de poids ( $p < 0,05$ )				

Le regain de masse grasse durant la phase de maintien du poids n'était pas significativement différent entre les deux groupes. À 18 mois, le regain de masse grasse était de 1,3 kg ( $p < 0,05$ ), correspondant à un regain de masse grasse de 4,8 %, pour le groupe contrôle tandis que le regain de masse grasse était de 0,8 kg ( $p < 0,05$ ), correspondant à un regain de masse grasse de 2,2 %, pour le groupe entraînement en résistance. De plus, un regain de masse grasse périphérique significatif était observé dans les deux groupes ( $p < 0,05$ ). Cependant, aucun changement dans la masse maigre, la masse grasse centrale, le tissu adipeux viscéral et sous-cutané n'était observé.

#### 8.4 Changement dans les marqueurs inflammatoires suite à l'intervention

Le **Tableau 4** montre les changements dans les marqueurs inflammatoires avant et après l'intervention. Il n'y avait pas de différence significative pour les marqueurs inflammatoires entre les deux groupes avant le début de l'intervention de 12 mois. Suite à la phase de maintien du poids, une réduction significative des concentrations sériques de l'orosomucoïde était observée dans les deux groupes. De plus, une hausse significative des niveaux de l'haptoglobine était notée dans les deux groupes. Par contre, aucun changement significatif n'a été observé pour la CRPus.

<b>Tableau 4.</b> Changement dans les marqueurs inflammatoires suite à l'intervention				
Variables	Pré maintien du poids		Post maintien du poids	
	Contrôle	ER	Contrôle	ER
CRPus (mg/L)	3,00 ± 2,32	1,75 ± 0,95	2,94 ± 2,02	1,93 ± 1,62
Orosomucoïde (g/L)	0,83 ± 0,22	0,78 ± 0,11	<b>0,73 ± 0,19 *</b>	<b>0,70 ± 0,12 *</b>
Haptoglobine (g/L)	1,11 ± 0,39	1,05 ± 0,33	<b>1,23 ± 0,39 *</b>	<b>1,15 ± 0,37 *</b>

ER : entraînement en résistance  
 CRPus : protéine C-réactive ultra-sensible  
 \* Changement significatif par rapport aux valeurs post perte de poids ( $p < 0,05$ )

#### 8.5 Relation entre la variation du tissu adipeux viscéral et les concentrations sériques des marqueurs inflammatoires

Le tissu adipeux viscéral était positivement corrélé aux concentrations sériques de la CRPus ( $r = 0,39$ ;  $p < 0,01$ ), de l'orosomucoïde ( $r = 0,29$ ;  $p < 0,05$ ) et de l'haptoglobine ( $r = 0,25$ ;  $p < 0,05$ ).

Les associations entre la variation du tissu adipeux viscéral et le changement dans les concentrations sériques des marqueurs inflammatoires sont présentées dans le **Tableau 5**. Une association positive entre la variation du tissu adipeux viscéral et le changement dans les niveaux de la CRPus était observée. Par contre, aucune association significative n'était notée pour l'orosomucoïde et l'haptoglobine.

<b>Tableau 5.</b> Relation entre la variation du tissu adipeux viscéral et les marqueurs inflammatoires		
<b>Variables</b>	<b>Δ Tissu adipeux viscéral</b>	
	<i>r</i>	<i>p</i>
Δ CRPus	0,373	<b>0,011</b>
Δ Orosomucoïde	0,261	0,079
Δ Haptoglobine	0,084	0,578

## Chapitre 9

### Discussion

Puisque l'obésité atteint maintenant des proportions épidémiques et que cette condition physique est associée à des conséquences néfastes pour la santé, il est primordial d'évaluer l'efficacité des interventions de perte de poids afin d'en maximiser les bénéfices. Par contre, un problème majeur rapporté avec ces interventions est la reprise de poids observée dans les années suivant la fin d'un programme de perte de poids. Donc, l'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'efficacité d'un programme d'entraînement en résistance dans la prévention du regain de poids.

#### 9.1 Analyse des résultats

##### Taux d'abandon de l'intervention

Le taux d'abandon de notre intervention est identique à celui de Borg et al. (54) qui ont rapporté un taux d'abandon de 24 % lors d'une intervention visant à déterminer si l'addition d'un programme de marche ou d'entraînement en résistance à des conseils diététiques, débuté après une perte de poids, améliorait le maintien de cette perte de poids. Par contre, notre taux d'abandon est supérieur à celui de Leermakers et al. (63) qui ont observé un taux d'abandon de 15 % lors d'une intervention dont l'objectif était d'évaluer l'efficacité d'un programme mettant l'accent sur l'exercice à un programme mettant l'emphase sur le poids dans la prévention du regain de poids. Plusieurs facteurs peuvent influencer le taux d'abandon dont la population étudiée (153, 154) et la durée de l'intervention (155). En effet, il a été rapporté que les femmes ont plus tendance à ne pas compléter les programmes de perte de poids (153, 154). De plus, une intervention de plus longue durée pourrait être associée à un taux d'abandon plus important puisque Landers et al. (155) ont observé que la probabilité de continuer de participer à un programme de perte de poids était de 83 % à 30 jours et de 60 % à 84 jours. Cependant, nous considérons que le taux d'abandon de notre intervention est

acceptable si nous prenons en compte de nombreux facteurs tels que la durée de l'intervention et les nombreux tests auxquels les participantes devaient se soumettre.

#### Taux d'adhésion au programme d'entraînement

Le taux d'adhérence au programme d'entraînement en résistance observée dans notre étude (64 %) est similaire à celui rapporté par la seule autre étude ayant évalué l'effet de l'entraînement en résistance sur le regain de poids. En effet, Kukkonen-Harjula et al. (55) ont rapporté un taux d'adhérence de 66 % à un programme d'entraînement en résistance d'une durée de six mois. Si notre nombre de sujets avait été plus important, il aurait été intéressant de faire une sous-analyse afin de vérifier si l'entraînement en résistance prévient le regain de poids en prenant seulement les sujets qui ont été présentes à, par exemple, 80 % des séances.

#### Composition corporelle

Les résultats de cette étude ne confirment pas notre première hypothèse puisque nous avons observé un regain de poids corporel et de masse grasse significatif dans le groupe entraînement en résistance et dans le groupe contrôle. Globalement, les sujets ont repris 19 % du poids perdu ce qui nettement inférieur à ce qui est généralement rapporté puisqu'il a été montré que les individus regagnent habituellement 30 à 35 % du poids perdu dans l'année suivant la fin de l'intervention (144).

Tel que discuté précédemment, seulement une autre étude a évalué les effets de l'entraînement en résistance sur le regain de poids. Borg et al. (54) ont montré que le changement dans le poids corporel n'était pas significativement différent entre le groupe contrôle et le groupe entraînement en résistance. Par contre, une tendance vers un regain de poids était observée chez les sujets du groupe contrôle tandis que les sujets du groupe entraînement en résistance avaient tendance à maintenir leur poids. De plus, un regain significatif de masse grasse était observé dans le groupe contrôle

seulement. Donc, les résultats de l'étude de Borg et al. (54) suggèrent que l'entraînement en résistance pourrait prévenir le regain de masse grasse.

Nos résultats sont difficilement comparables à ceux de Borg et al. (54) pour deux principales raisons. Premièrement, la période de maintien du poids était d'une durée de six mois comparativement à une durée de douze mois dans notre étude. Il est donc possible que Borg et al. (54) n'aient pas observé de regain de masse grasse à six mois, mais auraient pu en observer un six mois plus tard. D'ailleurs, durant la période de suivi non supervisée, Borg et al. (54) ont noté que les gains de masse grasse étaient similaires dans le groupe contrôle et le groupe entraînement en résistance. Deuxièmement, Borg et al. (54) ont étudié les effets de l'entraînement en résistance chez des hommes obèses âgés entre 35 et 50 ans. Il est donc probable que les différences entre nos résultats et les leurs puissent également être expliquées par la population étudiée. Par ailleurs, il a été rapporté que pour le même volume d'entraînement, l'hypertrophie musculaire était cinq fois plus importante chez les hommes que chez les femmes (145).

En ce qui concerne les résultats de notre étude, il se peut que la fréquence et l'intensité de l'entraînement en résistance n'aient pas été suffisantes pour prévenir le regain de poids. Tel que mentionné dans le Chapitre 3, la dépense énergétique associée à l'entraînement en résistance n'est que de 150 à 200 kilocalories par séance. Il est donc possible que la dépense énergétique reliée à notre programme d'entraînement en résistance ait été trop faible pour induire une balance énergétique négative et ainsi prévenir le regain de poids. Par ailleurs, il est également probable que les sujets du groupe entraînement en résistance aient surestimé leur dépense énergétique et ainsi augmenté leur apport énergétique, ce qui pourrait expliquer le regain de poids dans ce groupe. Il aurait été intéressant de comparer l'apport énergétique des deux groupes, mais ces données ne sont présentement pas disponibles. D'un autre côté, le regain de poids observé dans le groupe contrôle est nettement inférieur à ce que l'on s'attendait. Il se peut que l'intervention nutritionnelle dont les sujets ont bénéficié durant les six premiers mois de l'étude ait induit des changements positifs dans les habitudes



alimentaires (qualitative et/ou quantitative) et que ces changements aient été maintenus à long terme chez les sujets du groupe contrôle. De plus, malgré le fait que l'on demandait aux participantes de ne pas changer leurs niveaux d'activité physique, il est toujours possible que certains sujets du groupe contrôle aient débuté à s'entraîner à l'extérieur du cadre de l'intervention. Finalement, les critères d'inclusion et d'exclusion devant être respectés pour participer à notre étude ont probablement causé un biais de sélection, c'est-à-dire que nous avons peut-être étudié une population en surpoids ou obèse plus en santé que la population en surpoids ou obèse générale. Globalement, le nombre de sujets était peut-être insuffisant pour détecter des différences dans la composition corporelle entre les deux groupes. De plus, durant la période de stabilisation du poids suivant l'intervention, les sujets du groupe ER devaient continuer à s'entraîner afin que les effets bénéfiques de l'entraînement en résistance puissent être détectés. En effet, il a été montré que quelques semaines de désentraînement suffisent pour que les valeurs de certains paramètres métaboliques retournent aux valeurs de départ (156). Par contre, plusieurs participantes ne se sont pas entraînées durant la période de stabilisation du poids ce qui pourrait peut-être expliquer, en partie, l'absence de différence entre les deux groupes.

### Marqueurs inflammatoires

Nous avons également émis l'hypothèse que l'entraînement en résistance majorerait l'amélioration du profil inflammatoire. Nos résultats infirment notre hypothèse puisque les changements dans les concentrations des marqueurs inflammatoires ont été observés dans le groupe entraînement en résistance et le groupe contrôle.

Tout d'abord, aucun changement au niveau des concentrations de la CRP n'a été observé après le programme d'entraînement en résistance. Les résultats des études portant sur les effets de l'entraînement en résistance sur les concentrations de la CRP sont contradictoires. Des baisses des niveaux sanguins de la CRP ont été rapportées (101) tandis que d'autres études n'ont observé aucun effet de l'entraînement en résistance sur les concentrations de la CRP (100, 102). Comme pour la composition

corporelle, il se peut que l'intensité du programme d'entraînement n'ait pas été assez élevée pour induire un changement significatif dans les niveaux sanguins de la CRP. De plus, il a été montré que le tissu adipeux viscéral est positivement associé à la CRP (3, 4). Donc, l'inefficacité de l'entraînement en résistance à induire un changement dans le tissu adipeux viscéral pourrait expliquer l'absence de changement significatif dans les concentrations sanguines de la CRP. Enfin, les valeurs obtenues dans notre étude sont dans la normale (157) donc dans ces conditions, il est difficile d'améliorer la valeur moyenne de la CRP.

Une augmentation des niveaux sanguins de l'haptoglobine a été notée dans le groupe contrôle et le groupe entraînement en résistance. Chiellini et al. (74) ont rapporté que la masse grasse était positivement corrélée aux concentrations de l'haptoglobine ce qui pourrait signifier que l'haptoglobine soit plus sensible aux variations de la masse grasse totale qu'aux variations du tissu adipeux viscéral. Par contre, dans notre étude, nous avons observé que la variation de la masse grasse n'était pas associée au changement dans les niveaux sanguins de l'haptoglobine ( $r = 0,134$ ;  $p = 0,359$ ).

Finalement, nous avons observé une baisse significative des niveaux sanguins de l'orosomucoïde dans le groupe contrôle et le groupe entraînement en résistance. Ces résultats semblent indiquer que les changements dans les concentrations de l'orosomucoïde ne sont pas été influencés par le regain de poids corporel et de masse grasse. D'autres facteurs sont donc probablement responsables de la variation des niveaux sanguins de l'orosomucoïde. Parmi ces facteurs, il est possible que les niveaux d'activité physique et la qualité de la diète jouent un rôle.

L'absence de différence entre les deux groupes dans notre étude pour les marqueurs inflammatoires pourrait être expliquée par les mêmes facteurs que ceux mentionnés pour la composition corporelle, c'est-à-dire, le biais de sélection causé par les critères d'exclusion et d'inclusion, le nombre insuffisant de participantes et les absences aux séances d'entraînement lors de la période de stabilisation du poids suite à l'intervention. De plus, on peut émettre l'hypothèse que les effets de l'entraînement

aérobique sur les marqueurs inflammatoires, surtout si celui-ci est intense, sont plus importants que ceux de l'entraînement en résistance. En effet, il a été montré que des changements significatifs dans les concentrations de l'IL-6 et de la CRP étaient observés après 10 mois d'entraînement en endurance, mais pas avec un entraînement en résistance (100).

### Relation entre la variation du tissu adipeux viscéral et les marqueurs inflammatoires

Une association positive entre la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral et les changements dans les concentrations sanguines de la CRP a été observée. Cette association significative n'est pas surprenante puisqu'il a été précédemment rapporté que le tissu adipeux viscéral était positivement corrélé aux concentrations sanguines de la CRP (74). Par contre, aucune association entre la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral et les changements dans les concentrations sanguines de l'orosomucoïde et l'haptoglobine n'a été notée. Tel que mentionné précédemment, ces résultats indiquent que d'autres facteurs, comme les niveaux d'activité physique et la qualité de la diète, pourraient jouer un rôle dans la variation des niveaux sanguins des marqueurs inflammatoires. Par ailleurs, il a été montré que la dépense énergétique reliée à l'activité physique était inversement corrélée aux concentrations de l'haptoglobine (158). Cependant, des études sont nécessaires afin de déterminer si la qualité de la diète joue un rôle dans la variation des concentrations sanguines des marqueurs inflammatoires.

## **9.2 Forces et limites de l'étude**

### Forces de l'étude

Peu d'études ont porté sur les effets de l'entraînement en résistance sur le regain de poids. Donc, cette étude apporte de nouvelles connaissances dans le domaine de la recherche en obésité. De plus, à notre connaissance, cette étude est la première à investiguer la relation entre la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral et les

changements dans les marqueurs inflammatoires. Finalement, nous avons étudié une population bien caractérisée à l'aide de méthodes de référence, telles que l'absorptiométrie double énergie à rayons X et la tomographie axiale.

### Limites de l'étude

Premièrement, notre cohorte était seulement composée de femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses en relativement bonne santé. Donc, nos résultats sont spécifiques à cette population. En second lieu, le fait d'avoir sélectionné des sujets sans pathologie associée permet de limiter les facteurs confondants reliés, par exemple, aux traitements pharmacologiques, mais en même temps, cela induit un biais de recrutement sélectionnant une population en bonne santé moins susceptible de bénéficier des effets positifs d'une intervention. Troisièmement, il est possible que la dépense énergétique reliée au programme d'entraînement ait été trop faible, due soit à une intensité et/ou à une fréquence insuffisante, pour observer des effets positifs sur la composition corporelle et les marqueurs inflammatoires. De plus, l'adhérence modérée au programme d'entraînement (64 %) pourrait avoir joué un rôle dans l'absence de différence entre les deux groupes. Finalement, il se peut que le nombre de sujets ayant complété l'étude ait été insuffisant pour observer les effets de l'entraînement en résistance sur le regain de poids et les marqueurs inflammatoires. Cela est d'autant plus important puisque le regain de poids observé a été significativement inférieur à ce que les données de la littérature rapportent. L'importante variation inter-sujet suggère qu'il faudra une population beaucoup plus importante pour mettre en évidence d'éventuelles différences.

## **Conclusion**

En conclusion, nos résultats suggèrent que l'entraînement en résistance ne limite pas le regain de poids corporel et de masse grasse chez des femmes post-ménopausées en surpoids ou obèses. De plus, nos résultats indiquent que l'entraînement en résistance ne majore pas l'amélioration du profil inflammatoire.

Enfin, la variation de la quantité de tissu adipeux viscéral ne semble pas jouer un grand rôle dans les changements des concentrations sanguines des marqueurs inflammatoires. D'autres facteurs, tels que la qualité de la diète et les niveaux d'activité physique, doivent être étudiés afin de déterminer si ceux-ci influencent les concentrations sanguines des marqueurs inflammatoires.

Il est important de souligner qu'il ne faut pas conclure à partir de cette étude que l'entraînement en résistance ne peut pas prévenir le regain de poids. Il reste possible que l'entraînement en résistance puisse avoir des effets positifs dans d'autres populations ou sur d'autres paramètres non mesurés dans notre étude tel que le gras hépatique (152) et le risque de chute (159). De plus, il serait intéressant d'étudier les effets d'un programme de prévention du regain de poids combinant un entraînement en endurance et en résistance sur les composantes de la composition corporelle et des paramètres métaboliques.

## Bibliographie

1. Flegal KM, Carroll MD, Ogden CL, Johnson CL. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2000. *JAMA* 2002; **288**: 1723-1727.
2. Lau DC, Douketis JD, Morrison KM, Hramiak IM, Sharma AM, Ur E. 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. *CMAJ* 2007; **176**: S1-13.
3. Piche ME, Lemieux S, Weisnagel SJ, Corneau L, Nadeau A, Bergeron J. Relation of high-sensitivity C-reactive protein, interleukin-6, tumor necrosis factor-alpha, and fibrinogen to abdominal adipose tissue, blood pressure, and cholesterol and triglyceride levels in healthy postmenopausal women. *Am J Cardiol* 2005; **96**: 92-97.
4. Pou KM, Massaro JM, Hoffmann U, Vasan RS, Maurovich-Horvat P, Larson MG, *et al.* Visceral and subcutaneous adipose tissue volumes are cross-sectionally related to markers of inflammation and oxidative stress: the Framingham Heart Study. *Circulation* 2007; **116**: 1234-1241.
5. Pradhan AD, Manson JE, Rifai N, Buring JE, Ridker PM. C-reactive protein, interleukin 6, and risk of developing type 2 diabetes mellitus. *JAMA* 2001; **286**: 327-334.
6. Yudkin JS, Stehouwer CD, Emeis JJ, Coppack SW. C-reactive protein in healthy subjects: associations with obesity, insulin resistance, and endothelial dysfunction: a potential role for cytokines originating from adipose tissue? *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 1999; **19**: 972-978.
7. Katzmarzyk PT. The Canadian obesity epidemic, 1985-1998. *CMAJ* 2002; **166**: 1039-1040.
8. Tjepkema M. Obésité chez les adultes au Canada: Poids et grandeur mesurés. *Nutrition: Résultats de l'Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes* 2005: 1-36.
9. Katzmarzyk PT, Ardern CI. Overweight and obesity mortality trends in Canada, 1985-2000. *Can J Public Health* 2004; **95**: 16-20.
10. Katzmarzyk PT, Janssen I. The economic costs associated with physical inactivity and obesity in Canada: an update. *Can J Appl Physiol* 2004; **29**: 90-115.

11. Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler SE, Hamman RF, Lachin JM, Walker EA, *et al.* Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N Engl J Med* 2002; **346**: 393-403.
12. Tuomilehto J, Lindstrom J, Eriksson JG, Valle TT, Hamalainen H, Ilanne-Parikka P, *et al.* Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *N Engl J Med* 2001; **344**: 1343-1350.
13. Klem ML, Wing RR, McGuire MT, Seagle HM, Hill JO. A descriptive study of individuals successful at long-term maintenance of substantial weight loss. *Am J Clin Nutr* 1997; **66**: 239-246.
14. McGuire MT, Wing RR, Hill JO. The prevalence of weight loss maintenance among American adults. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999; **23**: 1314-1319.
15. Kayman S, Bruvold W, Stern JS. Maintenance and relapse after weight loss in women: behavioral aspects. *Am J Clin Nutr* 1990; **52**: 800-807.
16. Brownell KD, Rodin J. Medical, metabolic, and psychological effects of weight cycling. *Archives of internal medicine* 1994; **154**: 1325-1330.
17. Burns CM, Tijhuis MA, Seidell JC. The relationship between quality of life and perceived body weight and dieting history in Dutch men and women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; **25**: 1386-1392.
18. Schulz M, Liese AD, Boeing H, Cunningham JE, Moore CG, Kroke A. Associations of short-term weight changes and weight cycling with incidence of essential hypertension in the EPIC-Potsdam Study. *J Hum Hypertens* 2005; **19**: 61-67.
19. Strychar I, Lavoie M-E, Messier L, Karelis A, Doucet E, Prud'homme D, *et al.* Anthropometric, Metabolic, Psychosocial, and Dietary Characteristics of Overweight/Obese Postmenopausal Women with a History of Weight Cycling: A MONET Study. *J Am Diet Assoc* 2008; **accepted pour publication**.
20. Vergnaud AC, Bertrais S, Oppert JM, Maillard-Teyssier L, Galan P, Hercberg S, *et al.* Weight fluctuations and risk for metabolic syndrome in an adult cohort. *Int J Obes (Lond)* 2008; **32**: 315-321.
21. Wing RR, Hill JO. Successful weight loss maintenance. *Annu Rev Nutr* 2001; **21**: 323-341.
22. Asikainen TM, Kukkonen-Harjula K, Miilunpalo S. Exercise for health for early postmenopausal women: a systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med* 2004; **34**: 753-778.

23. Svendsen OL, Hassager C, Christiansen C. Effect of an energy-restrictive diet, with or without exercise, on lean tissue mass, resting metabolic rate, cardiovascular risk factors, and bone in overweight postmenopausal women. *Am J Med* 1993; **95**: 131-140.
24. Thompson JL, Manore MM, Thomas JR. Effects of diet and diet-plus-exercise programs on resting metabolic rate: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr* 1996; **6**: 41-61.
25. Martin CK, Heilbronn LK, de Jonge L, DeLany JP, Volaufova J, Anton SD, *et al.* Effect of calorie restriction on resting metabolic rate and spontaneous physical activity. *Obesity (Silver Spring, Md)* 2007; **15**: 2964-2973.
26. Foreyt JP, Goodrick GK. Evidence for success of behavior modification in weight loss and control. *Annals of internal medicine* 1993; **119**: 698-701.
27. Franz MJ, VanWormer JJ, Crain AL, Boucher JL, Histon T, Caplan W, *et al.* Weight-loss outcomes: a systematic review and meta-analysis of weight-loss clinical trials with a minimum 1-year follow-up. *J Am Diet Assoc* 2007; **107**: 1755-1767.
28. American Diabetic Association's Adult Weight Management Evidence-Based Nutrition Practice Guideline.
29. Torgerson JS, Hauptman J, Boldrin MN, Sjostrom L. XENical in the prevention of diabetes in obese subjects (XENDOS) study: a randomized study of orlistat as an adjunct to lifestyle changes for the prevention of type 2 diabetes in obese patients. *Diabetes Care* 2004; **27**: 155-161.
30. Wadden TA, Berkowitz RI, Sarwer DB, Prus-Wisniewski R, Steinberg C. Benefits of lifestyle modification in the pharmacologic treatment of obesity: a randomized trial. *Archives of internal medicine* 2001; **161**: 218-227.
31. James WP, Astrup A, Finer N, Hilsted J, Kopelman P, Rossner S, *et al.* Effect of sibutramine on weight maintenance after weight loss: a randomised trial. STORM Study Group. Sibutramine Trial of Obesity Reduction and Maintenance. *Lancet* 2000; **356**: 2119-2125.
32. Société canadienne de physiologie de l'exercice. *Guide d'activité physique canadien pour une vie active saine.*
33. Sikand G, Kondo A, Foreyt JP, Jones PH, Gotto AM, Jr. Two-year follow-up of patients treated with a very-low-calorie diet and exercise training. *J Am Diet Assoc* 1988; **88**: 487-488.



34. Wadden TA, Vogt RA, Foster GD, Anderson DA. Exercise and the maintenance of weight loss: 1-year follow-up of a controlled clinical trial. *J Consult Clin Psychol* 1998; **66**: 429-433.
35. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009; **41**: 459-471.
36. Little P, Margetts B. The importance of diet and physical activity in the treatment of conditions managed in general practice. *Br J Gen Pract* 1996; **46**: 187-192.
37. Thorogood M. Combining diet with physical activity in the treatment of obesity *J Hum Nutr Diet* 1998; **2**: 239-242.
38. Wood PD, Stefanick ML, Williams PT, Haskell WL. The effects on plasma lipoproteins of a prudent weight-reducing diet, with or without exercise, in overweight men and women. *N Engl J Med* 1991; **325**: 461-466.
39. Anderssen S, Holme I, Urdal P, Hjermann I. Diet and exercise intervention have favourable effects on blood pressure in mild hypertensives: the Oslo Diet and Exercise Study (ODES). *Blood Press* 1995; **4**: 343-349.
40. Reseland JE, Anderssen SA, Solvoll K, Hjermann I, Urdal P, Holme I, *et al.* Effect of long-term changes in diet and exercise on plasma leptin concentrations. *Am J Clin Nutr* 2001; **73**: 240-245.
41. Pronk NP, Wing RR. Physical activity and long-term maintenance of weight loss. *Obesity research* 1994; **2**: 587-599.
42. Williamson DF, Madans J, Anda RF, Kleinman JC, Kahn HS, Byers T. Recreational physical activity and ten-year weight change in a US national cohort. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1993; **17**: 279-286.
43. Sherwood NE, Jeffery RW, French SA, Hannan PJ, Murray DM. Predictors of weight gain in the Pound of Prevention study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; **24**: 395-403.
44. Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, *et al.* Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *Jama* 1995; **273**: 402-407.

45. Jakicic JM, Marcus BH, Gallagher KI, Napolitano M, Lang W. Effect of exercise duration and intensity on weight loss in overweight, sedentary women: a randomized trial. *JAMA* 2003; **290**: 1323-1330.
46. Jakicic JM, Winters C, Lang W, Wing RR. Effects of intermittent exercise and use of home exercise equipment on adherence, weight loss, and fitness in overweight women: a randomized trial. *JAMA* 1999; **282**: 1554-1560.
47. Fogelholm M, Kukkonen-Harjula K, Nenonen A, Pasanen M. Effects of walking training on weight maintenance after a very-low-energy diet in premenopausal obese women: a randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 2000; **160**: 2177-2184.
48. Van Aggel-Leijssen DP, Saris WH, Hul GB, Van Baak MA. Long-term effects of low-intensity exercise training on fat metabolism in weight-reduced obese men. *Metabolism* 2002; **51**: 1003-1010.
49. Pasma WJ, Saris WH, Muls E, Vansant G, Westerterp-Plantenga MS. Effect of exercise training on long-term weight maintenance in weight-reduced men. *Metabolism* 1999; **48**: 15-21.
50. Villanova N, Pasqui F, Burzacchini S, Forlani G, Manini R, Suppini A, *et al.* A physical activity program to reinforce weight maintenance following a behavior program in overweight/obese subjects. *Int J Obes (Lond)* 2006; **30**: 697-703.
51. Votruba SB, Horvitz MA, Schoeller DA. The role of exercise in the treatment of obesity. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif)* 2000; **16**: 179-188.
52. Hensrud DD, Weinsier RL, Darnell BE, Hunter GR. A prospective study of weight maintenance in obese subjects reduced to normal body weight without weight-loss training. *Am J Clin Nutr* 1994; **60**: 688-694.
53. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 2004; **34**: 329-348.
54. Borg P, Kukkonen-Harjula K, Fogelholm M, Pasanen M. Effects of walking or resistance training on weight loss maintenance in obese, middle-aged men: a randomized trial. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; **26**: 676-683.
55. Kukkonen-Harjula KT, Borg PT, Nenonen AM, Fogelholm MG. Effects of a weight maintenance program with or without exercise on the metabolic syndrome: a randomized trial in obese men. *Prev Med* 2005; **41**: 784-790.

56. Little P, Barnett J, Margetts B, Kinmonth AL, Gabbay J, Thompson R, *et al.* The validity of dietary assessment in general practice. *J Epidemiol Community Health* 1999; **53**: 165-172.
57. Pikholtz C, Swinburn B, Metcalf P. Under-reporting of energy intake in the 1997 National Nutrition Survey. *N Z Med J* 2004; **117**: U1079.
58. Pomerleau M, Imbeault P, Parker T, Doucet E. Effects of exercise intensity on food intake and appetite in women. *Am J Clin Nutr* 2004; **80**: 1230-1236.
59. Goran MI, Poehlman ET. Endurance training does not enhance total energy expenditure in healthy elderly persons. *Am J Physiol* 1992; **263**: E950-957.
60. Perri M, Corsica J. Improving the maintenance of weight lost in behavioral treatment of obesity. In: Wadden TA, Stunkard AJ (eds). *Handbook of obesity*. The Guilford Press: New York, 2002, pp 357-394.
61. Perri MG, McAllister DA, Gange JJ, Jordan RC, McAdoo G, Nezu AM. Effects of four maintenance programs on the long-term management of obesity. *J Consult Clin Psychol* 1988; **56**: 529-534.
62. Baum JG, Clark HB, Sandler J. Preventing relapse in obesity through posttreatment maintenance systems: comparing the relative efficacy of two levels of therapist support. *J Behav Med* 1991; **14**: 287-302.
63. Leermakers EA, Perri MG, Shigaki CL, Fuller PR. Effects of exercise-focused versus weight-focused maintenance programs on the management of obesity. *Addict Behav* 1999; **24**: 219-227.
64. Befort CA, Stewart EE, Smith BK, Gibson CA, Sullivan DK, Donnelly JE. Weight maintenance, behaviors and barriers among previous participants of a university-based weight control program. *Int J Obes (Lond)* 2008; **32**: 519-526.
65. Wyatt HR, Grunwald GK, Mosca CL, Klem ML, Wing RR, Hill JO. Long-term weight loss and breakfast in subjects in the National Weight Control Registry. *Obesity research* 2002; **10**: 78-82.
66. Kruger J, Blanck HM, Gillespie C. Dietary and physical activity behaviors among adults successful at weight loss maintenance. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity* 2006; **3**: 17.
67. Raynor DA, Phelan S, Hill JO, Wing RR. Television viewing and long-term weight maintenance: results from the National Weight Control Registry. *Obesity (Silver Spring, Md)* 2006; **14**: 1816-1824.

68. Elfhag K, Rossner S. Who succeeds in maintaining weight loss? A conceptual review of factors associated with weight loss maintenance and weight regain. *Obes Rev* 2005; **6**: 67-85.
69. Petersen AM, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol* 2005; **98**: 1154-1162.
70. Hak AE, Stehouwer CD, Bots ML, Polderman KH, Schalkwijk CG, Westendorp IC, *et al.* Associations of C-reactive protein with measures of obesity, insulin resistance, and subclinical atherosclerosis in healthy, middle-aged women. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 1999; **19**: 1986-1991.
71. Roytblat L, Rachinsky M, Fisher A, Greemberg L, Shapira Y, Douvdevani A, *et al.* Raised interleukin-6 levels in obese patients. *Obesity research* 2000; **8**: 673-675.
72. Visser M, Bouter LM, McQuillan GM, Wener MH, Harris TB. Elevated C-reactive protein levels in overweight and obese adults. *JAMA* 1999; **282**: 2131-2135.
73. Park HS, Park JY, Yu R. Relationship of obesity and visceral adiposity with serum concentrations of CRP, TNF-alpha and IL-6. *Diabetes Res Clin Pract* 2005; **69**: 29-35.
74. Chiellini C, Santini F, Marsili A, Berti P, Bertacca A, Pelosini C, *et al.* Serum haptoglobin: a novel marker of adiposity in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 2004; **89**: 2678-2683.
75. Engstrom G, Hedblad B, Stavenow L, Jonsson S, Lind P, Janzon L, *et al.* Incidence of obesity-associated cardiovascular disease is related to inflammation-sensitive plasma proteins: a population-based cohort study. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2004; **24**: 1498-1502.
76. Festa A, D'Agostino R, Jr., Tracy RP, Haffner SM. Elevated levels of acute-phase proteins and plasminogen activator inhibitor-1 predict the development of type 2 diabetes: the insulin resistance atherosclerosis study. *Diabetes* 2002; **51**: 1131-1137.
77. Schmidt MI, Duncan BB, Sharrett AR, Lindberg G, Savage PJ, Offenbacher S, *et al.* Markers of inflammation and prediction of diabetes mellitus in adults (Atherosclerosis Risk in Communities study): a cohort study. *Lancet* 1999; **353**: 1649-1652.
78. Ridker PM, Hennekens CH, Buring JE, Rifai N. C-reactive protein and other markers of inflammation in the prediction of cardiovascular disease in women. *N Engl J Med* 2000; **342**: 836-843.

79. Despres JP. The insulin resistance-dyslipidemic syndrome of visceral obesity: effect on patients' risk. *Obesity research* 1998; **6 Suppl 1**: 8S-17S.
80. Mokdad AH, Bowman BA, Ford ES, Vinicor F, Marks JS, Koplan JP. The continuing epidemics of obesity and diabetes in the United States. *JAMA* 2001; **286**: 1195-1200.
81. Mokdad AH, Ford ES, Bowman BA, Dietz WH, Vinicor F, Bales VS, *et al.* Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors, 2001. *JAMA* 2003; **289**: 76-79.
82. Harris MM, Stevens J, Thomas N, Schreiner P, Folsom AR. Associations of fat distribution and obesity with hypertension in a bi-ethnic population: the ARIC study. Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Obesity research* 2000; **8**: 516-524.
83. Wilson PW, D'Agostino RB, Sullivan L, Parise H, Kannel WB. Overweight and obesity as determinants of cardiovascular risk: the Framingham experience. *Archives of internal medicine* 2002; **162**: 1867-1872.
84. Lemieux I, Pascot A, Couillard C, Lamarche B, Tchernof A, Almeras N, *et al.* Hypertriglyceridemic waist: A marker of the atherogenic metabolic triad (hyperinsulinemia; hyperapolipoprotein B; small, dense LDL) in men? *Circulation* 2000; **102**: 179-184.
85. Pascot A, Lemieux I, Prud'homme D, Tremblay A, Nadeau A, Couillard C, *et al.* Reduced HDL particle size as an additional feature of the atherogenic dyslipidemia of abdominal obesity. *J Lipid Res* 2001; **42**: 2007-2014.
86. Bouchard C, Despres JP, Mauriege P. Genetic and nongenetic determinants of regional fat distribution. *Endocr Rev* 1993; **14**: 72-93.
87. von Eyben FE, Mouritsen E, Holm J, Montvilas P, Dimcevski G, Suciuc G, *et al.* Intra-abdominal obesity and metabolic risk factors: a study of young adults. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2003; **27**: 941-949.
88. Wong S, Janssen I, Ross R. Abdominal adipose tissue distribution and metabolic risk. *Sports Med* 2003; **33**: 709-726.
89. Wajchenberg BL. Subcutaneous and visceral adipose tissue: their relation to the metabolic syndrome. *Endocr Rev* 2000; **21**: 697-738.
90. Despres JP. Visceral obesity and dyslipidemia: contribution of insulin resistance and genetic susceptibility. In: Angel A, Andersen H, Bouchard C, Lau DC, Leiter L, Mendelson R (eds). *Progress in Obesity Research*:

*Proceedings of the Seventh International Congress on Obesity (Toronto, Canada, August 20–25, 1994)*, vol. 7. John Libbey & Company: London, 1996, pp 525–532

91. Fried SK, Bunkin DA, Greenberg AS. Omental and subcutaneous adipose tissues of obese subjects release interleukin-6: depot difference and regulation by glucocorticoid. *J Clin Endocrinol Metab* 1998; **83**: 847-850.
92. Despres JP, Lemieux I. Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature* 2006; **444**: 881-887.
93. Dufaux B, Order U, Geyer H, Hollmann W. C-reactive protein serum concentrations in well-trained athletes. *Int J Sports Med* 1984; **5**: 102-106.
94. Ford ES. Does exercise reduce inflammation? Physical activity and C-reactive protein among U.S. adults. *Epidemiology* 2002; **13**: 561-568.
95. Geffken DF, Cushman M, Burke GL, Polak JF, Sakkinen PA, Tracy RP. Association between physical activity and markers of inflammation in a healthy elderly population. *Am J Epidemiol* 2001; **153**: 242-250.
96. Koenig W, Sund M, Frohlich M, Fischer HG, Lowel H, Doring A, *et al.* C-Reactive protein, a sensitive marker of inflammation, predicts future risk of coronary heart disease in initially healthy middle-aged men: results from the MONICA (Monitoring Trends and Determinants in Cardiovascular Disease) Augsburg Cohort Study, 1984 to 1992. *Circulation* 1999; **99**: 237-242.
97. Tsukui S, Kanda T, Nara M, Nishino M, Kondo T, Kobayashi I. Moderate-intensity regular exercise decreases serum tumor necrosis factor-alpha and HbA1c levels in healthy women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; **24**: 1207-1211.
98. Lakka TA, Lakka HM, Rankinen T, Leon AS, Rao DC, Skinner JS, *et al.* Effect of exercise training on plasma levels of C-reactive protein in healthy adults: the HERITAGE Family Study. *Eur Heart J* 2005; **26**: 2018-2025.
99. Marcell TJ, McAuley KA, Traustadottir T, Reaven PD. Exercise training is not associated with improved levels of C-reactive protein or adiponectin. *Metabolism: clinical and experimental* 2005; **54**: 533-541.
100. Kohut ML, McCann DA, Russell DW, Konopka DN, Cunnick JE, Franke WD, *et al.* Aerobic exercise, but not flexibility/resistance exercise, reduces serum IL-18, CRP, and IL-6 independent of beta-blockers, BMI, and psychosocial factors in older adults. *Brain Behav Immun* 2006; **20**: 201-209.

101. Olson TP, Dengel DR, Leon AS, Schmitz KH. Changes in inflammatory biomarkers following one-year of moderate resistance training in overweight women. *Int J Obes (Lond)* 2007; **31**: 996-1003.
102. Klimcakova E, Polak J, Moro C, Hejnova J, Majercik M, Viguerie N, *et al.* Dynamic strength training improves insulin sensitivity without altering plasma levels and gene expression of adipokines in subcutaneous adipose tissue in obese men. *J Clin Endocrinol Metab* 2006; **91**: 5107-5112.
103. Stewart LK, Flynn MG, Campbell WW, Craig BA, Robinson JP, Timmerman KL, *et al.* The influence of exercise training on inflammatory cytokines and C-reactive protein. *Med Sci Sports Exerc* 2007; **39**: 1714-1719.
104. Vona M, Codeluppi GM, Iannino T, Ferrari E, Bogousslavsky J, von Segesser LK. Effects of Different Types of Exercise Training Followed by Detraining on Endothelium-Dependent Dilation in Patients With Recent Myocardial Infarction. *Circulation* 2009.
105. Winett RA, Carpinelli RN. Potential health-related benefits of resistance training. *Prev Med* 2001; **33**: 503-513.
106. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998; **30**: 975-991.
107. Hurley BF, Roth SM. Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Med* 2000; **30**: 249-268.
108. Roth SM, Ferrell RF, Hurley BF. Strength training for the prevention and treatment of sarcopenia. *J Nutr Health Aging* 2000; **4**: 143-155.
109. Miller JP, Pratley RE, Goldberg AP, Gordon P, Rubin M, Treuth MS, *et al.* Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* 1994; **77**: 1122-1127.
110. Campbell WW, Crim MC, Young VR, Evans WJ. Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am J Clin Nutr* 1994; **60**: 167-175.
111. Pratley R, Nicklas B, Rubin M, Miller J, Smith A, Smith M, *et al.* Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* 1994; **76**: 133-137.

112. Kelley GA, Kelley KS. Progressive resistance exercise and resting blood pressure : A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension* 2000; **35**: 838-843.
113. Martel GF, Hurlbut DE, Lott ME, Lemmer JT, Ivey FM, Roth SM, *et al.* Strength training normalizes resting blood pressure in 65- to 73-year-old men and women with high normal blood pressure. *J Am Geriatr Soc* 1999; **47**: 1215-1221.
114. Broeder CE, Burrhus KA, Svanevik LS, Wilmore JH. The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *Am J Clin Nutr* 1992; **55**: 802-810.
115. Hunter GR, Bryan DR, Wetzstein CJ, Zuckerman PA, Bamman MM. Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. *Med Sci Sports Exerc* 2002; **34**: 1023-1028.
116. Van Etten LM, Westertep KR, Verstappen FT, Boon BJ, Saris WH. Effect of an 18-wk weight-training program on energy expenditure and physical activity. *J Appl Physiol* 1997; **82**: 298-304.
117. Poehlman ET, Dvorak RV, DeNino WF, Brochu M, Ades PA. Effects of resistance training and endurance training on insulin sensitivity in nonobese, young women: a controlled randomized trial. *J Clin Endocrinol Metab* 2000; **85**: 2463-2468.
118. Donnelly JE, Smith B, Jacobsen DJ, Kirk E, Dubose K, Hyder M, *et al.* The role of exercise for weight loss and maintenance. *Best practice & research* 2004; **18**: 1009-1029.
119. Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* 2000; **89**: 977-984.
120. Treuth MS, Hunter GR, Weinsier RL, Kell SH. Energy expenditure and substrate utilization in older women after strength training: 24-h calorimeter results. *J Appl Physiol* 1995; **78**: 2140-2146.
121. Ryan AS, Pratley RE, Elahi D, Goldberg AP. Changes in plasma leptin and insulin action with resistive training in postmenopausal women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; **24**: 27-32.
122. Fahlman MM, Boardley D, Lambert CP, Flynn MG. Effects of endurance training and resistance training on plasma lipoprotein profiles in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002; **57**: B54-60.



123. Hurley BF, Hagberg JM, Goldberg AP, Seals DR, Ehsani AA, Brennan RE, *et al.* Resistive training can reduce coronary risk factors without altering VO<sub>2</sub>max or percent body fat. *Med Sci Sports Exerc* 1988; **20**: 150-154.
124. Kokkinos PF, Hurley BF, Smutok MA, Farmer C, Reece C, Shulman R, *et al.* Strength training does not improve lipoprotein-lipid profiles in men at risk for CHD. *Med Sci Sports Exerc* 1991; **23**: 1134-1139.
125. Kokkinos PF, Hurley BF, Vaccaro P, Patterson JC, Gardner LB, Ostrove SM, *et al.* Effects of low- and high-repetition resistive training on lipoprotein-lipid profiles. *Med Sci Sports Exerc* 1988; **20**: 50-54.
126. Collins R, Peto R, MacMahon S, Hebert P, Fiebach NH, Eberlein KA, *et al.* Blood pressure, stroke, and coronary heart disease. Part 2, Short-term reductions in blood pressure: overview of randomised drug trials in their epidemiological context. *Lancet* 1990; **335**: 827-838.
127. Lamotte M, Niset G, van de Borne P. The effect of different intensity modalities of resistance training on beat-to-beat blood pressure in cardiac patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2005; **12**: 12-17.
128. Brochu M, Tchernof A, Turner AN, Ades PA, Poehlman ET. Is there a threshold of visceral fat loss that improves the metabolic profile in obese postmenopausal women? *Metabolism* 2003; **52**: 599-604.
129. Douketis JD, Macie C, Thabane L, Williamson DF. Systematic review of long-term weight loss studies in obese adults: clinical significance and applicability to clinical practice. *Int J Obes (Lond)* 2005; **29**: 1153-1167.
130. Lau DC, Douketis JD, Morrison KM, Hramiak IM, Sharma AM, Ur E. 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children [summary]. *CMAJ* 2007; **176**: S1-13.
131. Lang A, Froelicher ES. Management of overweight and obesity in adults: behavioral intervention for long-term weight loss and maintenance. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2006; **5**: 102-114.
132. Anderson JW, Konz EC, Frederich RC, Wood CL. Long-term weight-loss maintenance: a meta-analysis of US studies. *Am J Clin Nutr* 2001; **74**: 579-584.
133. Schoeller DA, Shay K, Kushner RF. How much physical activity is needed to minimize weight gain in previously obese women? *Am J Clin Nutr* 1997; **66**: 551-556.

134. Crawford D, Jeffery RW, French SA. Can anyone successfully control their weight? Findings of a three year community-based study of men and women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; **24**: 1107-1110.
135. Saris WH. Fit, fat and fat free: the metabolic aspects of weight control. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998; **22 Suppl 2**: S15-21.
136. Hughes JR. Psychological effects of habitual aerobic exercise: a critical review. *Prev Med* 1984; **13**: 66-78.
137. Lejeune MP, Van Aggel-Leijssen DP, Van Baak MA, Westerterp-Plantenga MS. Effects of dietary restraint vs exercise during weight maintenance in obese men. *Eur J Clin Nutr* 2003; **57**: 1338-1344.
138. Ades PA, Savage PD, Brochu M, Tischler MD, Lee NM, Poehlman ET. Resistance training increases total daily energy expenditure in disabled older women with coronary heart disease. *J Appl Physiol* 2005; **98**: 1280-1285.
139. Weinsier RL, Nagy TR, Hunter GR, Darnell BE, Hensrud DD, Weiss HL. Do adaptive changes in metabolic rate favor weight regain in weight-reduced individuals? An examination of the set-point theory. *Am J Clin Nutr* 2000; **72**: 1088-1094.
140. DeFronzo RA, Tobin JD, Andres R. Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance. *The American journal of physiology* 1979; **237**: E214-223.
141. Friedewald WT, Levy RI, Fredrickson DS. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical chemistry* 1972; **18**: 499-502.
142. Faraj M, Messier L, Bastard JP, Tardif A, Godbout A, Prud'homme D, et al. Apolipoprotein B: a predictor of inflammatory status in postmenopausal overweight and obese women. *Diabetologia* 2006; **49**: 1637-1646.
143. Wadden TA, Butryn ML, Byrne KJ. Efficacy of lifestyle modification for long-term weight control. *Obes Res* 2004; **12 Suppl**: 151S-162S.
144. Weiss EC, Galuska DA, Kettel Khan L, Gillespie C, Serdula MK. Weight regain in U.S. adults who experienced substantial weight loss, 1999-2002. *Am J Prev Med* 2007; **33**: 34-40.
145. Bamman MM, Hill VJ, Adams GR, Haddad F, Wetzstein CJ, Gower BA, et al. Gender differences in resistance-training-induced myofiber hypertrophy among older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003; **58**: 108-116.

146. Ivey FM, Roth SM, Ferrell RE, Tracy BL, Lemmer JT, Hurlbut DE, *et al.* Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; **55**: M641-648.
147. Tracy BL, Ivey FM, Hurlbut D, Martel GF, Lemmer JT, Siegel EL, *et al.* Muscle quality. II. Effects Of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 1999; **86**: 195-201.
148. Illner K, Brinkmann G, Heller M, Bosy-Westphal A, Muller MJ. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000; **278**: E308-315.
149. Muller MJ, Illner K, Bosy-Westphal A, Brinkmann G, Heller M. Regional lean body mass and resting energy expenditure in non-obese adults. *Eur J Nutr* 2001; **40**: 93-97.
150. Williams PT. Relationships of heart disease risk factors to exercise quantity and intensity. *Arch Intern Med* 1998; **158**: 237-245.
151. Saris WH, Blair SN, van Baak MA, Eaton SB, Davies PS, Di Pietro L, *et al.* How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 2003; **4**: 101-114.
152. Pighon A, Paquette A, Barsalani R, Chapados NA, Yasari S, Doucet E, *et al.* Substituting food restriction by resistance training prevents liver and body fat regain in ovariectomized rats. *Climacteric* 2009; **12**: 153-164.
153. Bautista-Castano I, Molina-Cabrillana J, Montoya-Alonso JA, Serra-Majem L. Variables predictive of adherence to diet and physical activity recommendations in the treatment of obesity and overweight, in a group of Spanish subjects. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004; **28**: 697-705.
154. Honas JJ, Early JL, Frederickson DD, O'Brien MS. Predictors of attrition in a large clinic-based weight-loss program. *Obesity research* 2003; **11**: 888-894.
155. Landers PS, Landers TL. Survival analysis of dropout patterns in dieting clinical trials. *J Am Diet Assoc* 2004; **104**: 1586-1588.
156. Orio F, Giallauria F, Palomba S, Manguso F, Orio M, Tafuri D, *et al.* Metabolic and cardiopulmonary effects of detraining after a structured exercise training programme in young PCOS women. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2008; **68**: 976-981.

157. Pieroni L, Bastard JP, Piton A, Khalil L, Hainque B, Jardel C. Interpretation of circulating C-reactive protein levels in adults: body mass index and gender are a must. *Diabetes Metab* 2003; **29**: 133-138.
158. Lavoie M-E, Faraj M, Messier L, Bastard J-P, Tardif A, Strychar I, *et al.* *Canadian Obesity Student Meeting*; June 6th; Québec, Québec, Canada. 2008.
159. Liu-Ambrose T, Khan KM, Eng JJ, Janssen PA, Lord SR, McKay HA. Resistance and agility training reduce fall risk in women aged 75 to 85 with low bone mass: a 6-month randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 2004; **52**: 657-665.