

Université de Montréal

Positionnement optimal de l'activité physique pour profiter de l'effet anorexigène

Par Marie-Hélène Albert

Département de Kinésiologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales en vue de l'obtention
du grade de maître ès science (M.Sc.) en science de l'activité physique

Août, 2013

© Marie-Hélène Albert, 2013

Université de Montréal

Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Positionnement optimal de l'activité physique pour profiter de l'effet anorexigène

Présenté par :

Marie-Hélène Albert

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Suzanne Laberge, président-rapporteur

Marie-Eve Mathieu, directrice de recherche

Jean-Marc Lavoie, membre du jury

Résumé

La balance énergétique (dépense énergétique et ingestion calorique) est au centre du contrôle de la masse corporelle. L'activité physique peut par ailleurs réduire l'appétit et l'ingestion calorique, un phénomène qu'on appelle aussi l'effet anorexigène de l'activité physique. Cependant, l'hormone orexigénique, liée à une diminution de l'appétit, diminue pendant l'exercice pour remonter rapidement après l'effort. Le but de ce mémoire était de déterminer si l'ingestion calorique est réduite quand l'exercice précède immédiatement le repas comparativement à une condition où il y a une pause entre l'exercice et le repas. Pour ce faire, douze garçons non obèses (15-20 ans) ont pris part à l'étude. Chaque participant était évalué individuellement pour les deux tâches suivantes, et ce, dans un ordre aléatoire : 1) Ex = 30 minutes d'exercice (70% VO₂max) suivi immédiatement par un buffet à volonté à midi; 2) Ex_{pause} = 30 minutes d'exercice (70% VO₂max) suivi d'une pause de 135 minutes et d'un buffet à volonté à midi. Les visites étaient précédées par un déjeuner standard et complétées avec une collation à volonté durant l'après-midi et un souper type buffet à volonté pour souper. Alors que les résultats ont révélé que la faim était similaire en tout temps, l'ingestion calorique au dîner était plus basse pour la condition Ex que pour la condition Ex_{pause} (5 072 vs 5 718 kJ; $p < 0,05$). Aucune différence significative n'a été notée pour la collation de l'après-midi et le souper. Chose intéressante, l'ingestion calorique des lipides était plus basse au dîner avec une ingestion de 1 604 kJ pour la condition Ex versus 2 085 kJ pour la condition Ex_{pause} ($p < 0,05$). Cette étude est la première à investiguer l'effet du positionnement optimal de l'activité physique pour réduire l'ingestion calorique et elle révèle qu'être actif physiquement juste avant le repas joue un rôle sur la diminution de l'ingestion calorique indépendamment des sensations d'appétit. L'absence d'une compensation durant le reste de la journée suggère de plus qu'une balance énergétique négative, incluant une réduction de la consommation de lipides, peut être plus facilement atteinte en positionnant l'activité physique juste avant un repas.

Mots-clés : Exercice, ingestion calorique, balance énergétique, adolescents, obésité

Abstract

Energy balance (energy expenditure and energy intake) is the central of body weight control. Interestingly, physical activity can suppress appetite and energy intake, a phenomenon also called exercise-induced anorexia. However, orexigenic hormone, which decrease appetite, decreases during exercise to rapidly increase following the effort. Until now, no study has examined the optimal timing of physical activity to maximize this anorexigenic effect and this was the goal of the present thesis. Concretely, this project aimed to determine if energy intake is reduced when exercise immediately precedes the meal compared to a condition in which a pause is present between the exercise and the meal. To do so, twelve non-obese boys (15-20 years old) took part in the study. Each subject was individually evaluated performing the two following tasks in a randomized order: 1) Ex=30-minute exercise bout (70% VO₂max) followed immediately by an *ad libitum* buffet at noon; 2) Ex_{pause}=30-minute exercise bout (70% VO₂max) followed by a 135-minute waiting period and an *ad libitum* buffet at noon. The visits were preceded by a standardized breakfast and completed with an *ad libitum* snack in the afternoon and a buffet-type dinner. While results shown that hunger was similar at all times, energy intake at lunch was lower for the Ex condition than for the Ex_{pause} condition (5,072 vs. 5,718 kJ; p<0.05). No significant difference was noted for the afternoon snack and dinner. Interestingly, caloric intake of fat was lower at lunch, with 1,604 kJ for the Ex condition versus 2,085 kJ for the Ex_{pause} condition (p<0.05). This study is the first to investigate the effect of the timing of physical activity on energy intake, and it reveals that being physically active right before a meal does play a role in energy intake reduction independently of pre-meal appetite sensations. Also, the absence of compensation during the rest of the day suggests that a negative energy balance, including a reduction in lipid consumption, could be more easily obtained by positioning physical activity before a meal.

Keywords: Exercise, energy intake, energy balance, adolescents, obesity

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Liste des abréviations	vii
Remerciements	viii
Introduction	1
Recension des écrits	3
1. Contrôle du poids corporel	3
1.1 Obésité au Canada	3
1.2 Mesure du statut pondéral.....	4
1.3 Complications associées	7
1.4 Causes	10
2. Lien entre activité physique et ingestion calorique	14
2.1 Effet anorexigène	15
2.2 Quotient de satiété	18
2.3 Dissociation	20
3. Effet anorexigène et ses facteurs associés	21
3.1 Intensité de l'activité physique	21
3.2 Modalité de l'activité physique	24
3.3 Statut pondéral	26
3.4 Sexe.....	27
Enjeux du projet	31
Manuscript	32
Abstract	33
Introduction	35
Methods	36

Participants	36
Preliminary visit.....	37
Experimental visits	38
Statistics.....	41
Results.....	41
Energy and macronutrient intake.....	41
Visual analogue scales and satiety quotient.....	42
Discussion	43
Conclusion	48
Acknowledgements	49
References	50
Figures and tables.....	56
Discussion.....	61
Rappel des résultats.....	62
Composition de la diète	63
Collation	65
Transfert des connaissances	68
Perspectives futures.....	71
Implication dans le projet	72
Conclusion	73
Références bibliographiques	74

Liste des tableaux

Tableau I : Classification du poids chez les adultes selon l'indice de masse corporelle.....	5
Tableau II : Prévalence des multiples facteurs de risque selon les percentiles d'indice de masse corporelle.....	8
Tableau III : Facteurs impliqués dans le développement de l'obésité.....	12
Tableau IV : Recommandations d'activité physique pour les adultes par différentes organisations.....	60

Liste des figures

Figure 1 : Prévalence de l'obésité au Canada.....	4
Figure 2 : Concentration plasmatique de ghréline acylée durant la visite avec exercice et repos.....	17
Figure 3 : Exemple d'une échelle visuelle analogue.....	18
Figure 4 : Formule du quotient de satiété.....	19

Liste des abréviations

AP	Activité physique
ArGP	Agouti-related protein
DE	Dépense énergétique
Ex	Visite avec exercice suivi immédiatement du repas
Ex_{pause}	Visite avec exercice suivi d'une pause et du repas
GTPPP	Groupe de travail provincial sur la problématique du poids
IC	Ingestion calorique
IMC	Indice de masse corporelle
kcal	Kilocalorie
kJ	Kilojoule
OMS	Organisation mondiale de la Santé
SA	Sensation d'appétit
VO₂max	Consommation maximale d'oxygène
WHO	World Health Organization

Remerciements

À ma directrice de recherche, Marie-Eve, merci pour ton soutien, tes encouragements, ta compréhension et ta disponibilité.

Au département de kinésiologie et à la Faculté des études supérieures de l'Université de Montréal, merci pour votre soutien financier.

À Audrey et Jessica, merci pour votre aide dans le projet (recrutement de participant, épicerie, préparation du buffet). Vous m'avez facilité la tâche en début de projet afin d'être mieux préparée par la suite.

Aux participants, merci d'avoir participé à l'étude et d'avoir aidé au recrutement.

À ma famille et à mes proches (Daniel, Maria, Mathieu, Marc-André, Madeleine, Daphné, Viviane), merci pour votre support à courte et longue distance.

Introduction

Les solutions pour contrer l'obésité sont en constantes évolutions. De nos jours, la majorité des personnes désirent voir des résultats pour un investissement minimal. Voilà une des raisons pourquoi certains ont recourt à des remèdes miracles comme « la pilule minceur » pour perdre du poids ou encore à des diètes qui vont souvent fonctionner à court terme, mais créer un regain pondéral à moyen/long terme. Le corps humain est une machine remarquable qui essaie d'atteindre l'homéostasie. L'excès de poids résulte d'une balance énergétique positive et ainsi brise l'homéostasie (Kino-Québec, 2008). Pour créer une balance énergétique négative, et donc favoriser une perte de masse corporelle, une stratégie peut être d'augmenter la dépense énergétique (DE), et ce, entre autres en pratiquant de l'activité physique (AP; Kino-Québec, 2008).

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a émis des recommandations mondiales en matière d'AP pour la santé (OMS, 2010). Pour les jeunes de 5 à 17 ans, l'AP englobe entre autres le jeu, les sports, les déplacements et on peut ajouter les loisirs et tâches ménagères pour les adultes (18-64 ans). Les jeunes devraient accumuler au moins 60 minutes d'AP d'intensités moyennes à soutenues par jour (principalement d'endurance et avec effort soutenu au moins 3 fois par semaine). Pour les adultes, il est recommandé de faire 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité moyenne ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue ou une combinaison des deux par semaine, en plus d'exercice de musculation au moins deux fois par semaine (OMS, 2010). Ces activités devraient être pratiquées par tranche d'au moins 10 minutes. Suivre ces recommandations permet d'améliorer l'endurance cardio-

respiratoire, l'état musculaire et osseux, les marqueurs biologiques cardiovasculaires et métaboliques, l'état psychologique ainsi que de réduire les risques de maladies non transmissibles (OMS, 2010). De façon intéressante, l'AP n'apporte pas seulement ces bénéfices, mais peut aussi stimuler un effet anorexigène. Ceci peut se manifester chez plusieurs personnes ayant fait de l'AP, qui peuvent ne pas en avoir compris la raison de cette réduction de la faim ou de l'ingestion calorique. D'autres peuvent n'avoir tout simplement pas porté attention à ce phénomène.

L'effet anorexigène suite à l'AP est un sujet d'étude récent dans le monde de la recherche. King et al. ont publié en 1994 un des tout premiers articles sur le sujet intitulé « *Exercise-induced suppression of appetite : effects on food intake and implications for energy balance* ». Cette étude a fort probablement mené à la popularisation des recherches portant sur l'AP et à son impact sur l'appétit et sur la balance énergétique au cœur de la perte, du maintien et de la prise de masse corporelle. Depuis, les facteurs reliés à l'exercice tels que l'intensité et la modalité ont été étudiés dans le contexte de l'effet anorexigène. Cependant, malgré une réponse hormonale qui supporterait l'intérêt que cet effet soit transitoire, il n'y a pas de données sur le positionnement de l'AP. Le but de la présente étude est donc de déterminer s'il existe un positionnement optimal de l'AP pour augmenter l'effet anorexigène.

Les retombées des études menées dans ce domaine de recherche revêtent un grand intérêt dans un contexte où l'obésité, la sédentarité et le manque de temps pour adopter un mode de vie actif sont grandissants. Les prochaines sections permettront de comprendre l'importance de

pratiquer de l'AP pour contrer le gain pondéral ainsi que son rôle sur la balance énergétique et plus précisément sur l'ingestion calorique (IC). Par exemple, au fil de cette recension des écrits et à la lumière des résultats de l'étude présentée, le positionnement optimal de l'AP s'imposera comme stratégie novatrice à considérer pour améliorer le contrôle de la balance énergétique.

Recension des écrits

1. Contrôle du poids corporel

1.1 Obésité au Canada

Le surpoids et l'obésité sont des termes qui ont gagné en popularité dans plusieurs sphères de la vie ces derniers temps, tant sur le plan personnel, familial, social, professionnel que de la vie quotidienne. Ceci n'est pas surprenant puisque l'obésité est considérée comme une épidémie à l'échelle mondiale (Shields et al., 2011). Pourtant, il n'en a pas toujours été ainsi. La prévalence mondiale de l'obésité a en effet doublé entre 1980 et 2008 : elle était respectivement de 4,8 et 7,9% en 1980 comparativement à 9,8 et 13,8% en 2008 pour les hommes et les femmes (Finucane et al., 2011). À l'échelle nationale, c'est 24,1% de la population qui était obèse en 2007-2009 (Shields et al., 2011). Cette prévalence a augmenté de façon importante depuis la fin des années 1980, soit d'environ neuf points de pourcentage (Shields et al., 2011). Malgré les avancées dans les connaissances sur la gestion de l'obésité, le Canada, tout comme le reste de la planète, demeure témoin de l'augmentation alarmante de la prévalence de l'obésité et de ses conséquences reliées à la santé (Lau, 2007). Par ailleurs, il ne

faut pas penser que ce phénomène concerne seulement les adultes puisque la prévalence de l'obésité pour les jeunes Canadiens de 2 à 17 ans a plus que doublé, passant de 3% en 1978-1979 à 8% en 2004 (Shields, 2006; Figure 1). Ce résultat indique qu'en 2004, environ un demi-million des jeunes Canadiens étaient obèses. On peut remarquer pour la même période que la tendance à l'augmentation de l'obésité est plus marquée, soit de près de 300%, comparativement au taux d'embonpoint, qui lui a augmenté de 50% (Shields, 2006). Globalement, c'est près de 5 points de pourcentage de plus qu'on observe pour la prévalence de l'obésité chez les enfants et 10 points de pourcentage pour les adultes, et ce, en près de 25 ans.

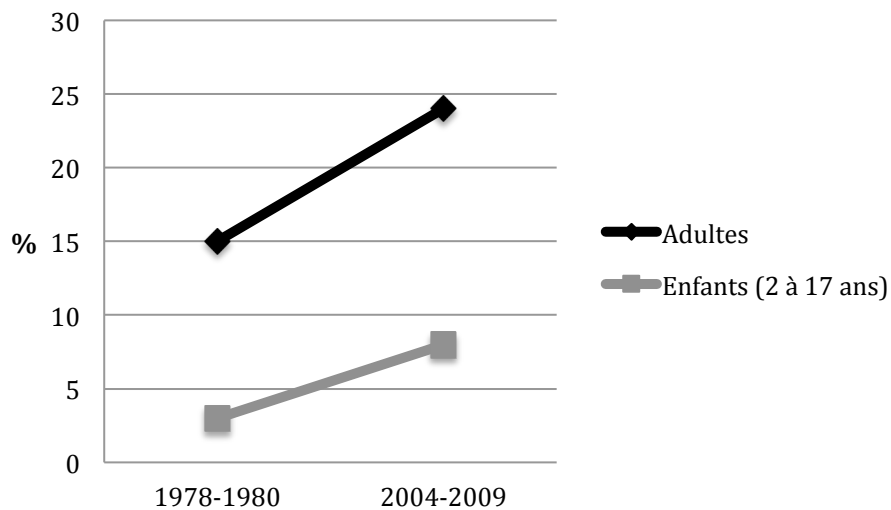


Figure 1 : Prévalence de l'obésité au Canada [adaptée de Starky (2005)].

1.2 Mesure du statut pondéral

Le surpoids et l'obésité sont deux classifications du statut pondéral d'un individu, qui peut être mesuré de différentes façons. L'indice de masse corporelle (IMC) est souvent celui qui est le plus utilisé. Non seulement le Canada en fait usage, mais aussi l'OMS (Starky, 2005). L'IMC

est calculé en divisant la masse, en kilogrammes, par la taille, en mètres, élevée au carré. Suite à cette mesure, il est possible de classer l'individu ainsi que d'évaluer les risques associés à un excès de masse corporelle ou à une masse corporelle insuffisante (Starky, 2005; Tableau I). Par contre, l'IMC n'est pas un bon indicateur de risques pour la santé chez certains groupes de la population : les jeunes qui sont en période de croissance, les adultes qui sont naturellement très minces ou très musclés, les femmes enceintes et les personnes âgées. Pour les enfants et les adolescents, la formule pour l'IMC est la même, mais le classement se fait selon les percentiles qui changent avec le sexe et l'âge. C'est pourquoi les courbes telles que celles du *Centers for Disease Control and Prevention* sont de mise pour ce groupe d'individu (Kuczmarski et al., 2002). L'individu est considéré en surpoids lorsqu'il se trouve avec un percentile d'IMC $\geq 85^e$ et $< 95^e$ et obèse avec un percentile d'IMC $\geq 95^e$ (Katzmarzyk et al., 2007).

Tableau I : Classification du poids chez les adultes selon l'IMC

Indice de masse corporelle (kg/m²)	Classification	Risque de développer des problèmes de santé
<18,5	Poids insuffisant	Accru
18,5 à 24,9	Poids normal	Moindre
25,0 à 29,9	Excès de poids	Accru
$\geq 30,0$: 30,0 à 34,9 35,0 à 39,9 $\geq 40,0$	Obèse : Obèse classe I Obèse classe II Obèse classe III	Élevé Très élevé Extrêmement élevé

Adapté de Starky (2005)

Toutes les personnes obèses selon les critères d'IMC ont des risques élevés pour certaines complications liées à la santé (Després et Lemieux, 2006). D'autres mesures peuvent s'ajouter à l'IMC traditionnellement utilisées comme indicateur principal de l'obésité, et ce, afin de préciser la composition corporelle et de mieux identifier les risques pour la santé. Parmi ces mesures, on retrouve la bio-impédance, les plis cutanés, la pesée hydrostatique et la circonférence de la taille. Cette dernière est devenue particulièrement importante comme mesure prédictive des risques liés à la santé, entre autres dans les milieux cliniques (Lau, 2007). La répartition de la masse grasse a en effet un impact sur l'importance de ces risques, et ce, surtout si l'accumulation de masse grasse est au niveau abdominal/viscéral (Lau, 2007). De ce fait, une circonférence de taille de 94 centimètres et 80 centimètres (homme et femme) sont des valeurs seuils couramment utilisées (Lean et al., 1995). Plus la circonférence de taille augmente au-delà de ces seuils, plus les risques liés à la santé augmentent. Si elle atteint une valeur de 102 centimètres pour les hommes et 88 centimètres pour les femmes, les risques sont d'autant plus accrus et une intervention médicale et une perte de poids sont, selon Lean et al. (1995), urgentes. Pour les enfants et les adolescents, il est à noter que d'autres valeurs, spécifiques au sexe et à l'âge de l'individu sont utilisées puisque ceux-ci sont en croissance (McCarthy et al., 2001).

Le risque accru du gras au niveau tronculaire n'est pas nécessairement le même pour la santé de l'individu et dépend des compartiments en jeu. Le gras viscéral se loge dans l'espace entre les organes abdominaux contrairement au gras sous-cutané qui est le plus visible et palpable, car il est juste sous la peau. C'est ce premier qui serait le plus dommageable. Després et Lemieux (2006) spécifient qu'il y a plus de lipolyse qui se fait dans le tissu viscéral que sous-

cutané. Les acides gras libres produits se retrouvent plus en circulation puisque l'effet antilipolytique de l'insuline ne fonctionne pas dû à l'insulino-résistance. Cette augmentation de l'insulino-résistance est causée entre autre par un ou plusieurs fragments sécrétés par les adipocytes viscéraux. (Bergman et al., 2006). L'insulino-résistance est une caractéristique qui a un lien essentiel entre le gras viscéral et les risques de maladies; c'est pourquoi on recommande de mesurer la circonférence de taille pour les adolescents et les adultes comme un signe vital pour les risques cardiovasculaires globaux associés à un tour de taille élevé (Lau, 2007).

1.3 Complications associées

Tel que mentionné par *l'American Medical and Research Foundation* (AMRF), l'OMS définit une épidémie comme « une maladie acquise par un nombre relativement élevé de personnes dans une région donnée durant un intervalle de temps relativement court ». L'obésité n'est pas devenue une épidémie seulement parce qu'il y a un plus grand nombre de cas observés, mais bien parce qu'il y a aussi plusieurs complications sur la santé qui lui sont associées. Ces complications sont entre-autres le diabète de type 2, l'hypertension, la dyslipidémie athérogène et les maladies cardiovasculaires (National Institute of Health, 1998; Lau, 2007) et même une diminution de l'espérance de vie (Peeters et al., 2003).

Les complications de l'obésité sont souvent concomitantes. Le diabète de type 2, qui était aussi appelé le diabète adulte auparavant, apparait de plus en plus à un jeune âge, ce qui est expliqué entre autres par l'augmentation de la prévalence de l'obésité chez les jeunes. Les

jeunes obèses sont aussi plus à risque de développer des maladies cardiovasculaires tels que l'hypercholestérolémie ou l'hypertension artérielle. Dans un échantillon de jeunes âgés de 5 à 17 ans, on révèle que 70% des jeunes obèses avaient au moins 1 facteur de risque de maladie cardiovasculaire alors que pour ceux de poids normal, la proportion était réduite à 36% (Freedman et al., 2007; Tableau II). D'autres facteurs de risques de maladies cardiovasculaires tels que l'athérosclérose, la dyslipidémie athérogène, l'hypertrophie du ventricule gauche et l'apnée du sommeil obstructive sont observables chez les jeunes obèses (Daniels et al., 2005; Armstrong, 2012).

Tableau II : Prévalence des multiples facteurs de risque selon les percentiles d'indice de masse corporelle

IMC pour l'âge (percentile)	Nombre de facteurs de risque			
	≥ 1	≥ 2	≥ 3	≥ 4
< 25	25%	5%	1%	0
25-49	29%	5%	1%	0
50-84	36%	9%	2%	0
85-94	51%	19%	5%	1%
≥ 95	70%	39%	18%	5%

Adapté de Freedman et al. (2007)

Certains facteurs de risque permettent de déterminer si l'individu est prédisposé à certaines complications. De ce fait, les individus qui en sont atteints peuvent être diagnostiqués avec le syndrome métabolique. Ce dernier contient cinq facteurs de risques métaboliques et un individu doit être atteint d'au moins trois d'entre eux pour avoir un diagnostic positif

(Pietrobelli et al., 2008; National Heart, Lung, and Blood Institute, 2011). Ces facteurs de risque sont : une circonférence de taille élevée, un niveau de triglycérides élevé, un niveau bas de cholestérol lipoprotéine à haute densité, une hypertension artérielle et une glycémie à jeun élevée (Després et Lemieux, 2006; National Heart, Lung, and Blood Institute, 2011). De plus, l'insulino-résistance augmente le risque d'avoir le syndrome métabolique et pour sa part, le syndrome métabolique est associé à un risque élevé de diabète de type 2 et de maladie cardiovasculaire (Després et Lemieux, 2006).

Les complications causées par l'obésité semblent nombreuses, mais elles ne sont pas irréversibles. Il a été rapporté que de pratiquer de l'AP régulièrement prévient et diminue le risque de maladie coronarienne (Janssen et Ross, 2012; Penedo et Dahn, 2005). Plus récemment, les évidences démontrent que les bénéfices s'étendent au-delà des maladies coronariennes, en diminuant les risques de complications causées par le diabète de type 2 ainsi que ses facteurs de risque (Penedo et Dahn, 2005). Dans cette même recension, les auteurs mentionnent que de s'engager dans des AP telles que les activités de loisirs peuvent apporter certains bénéfices, mais que seule la pratique d'exercices conduirait à une meilleure fonction physique. En effet, l'AP est tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques provoquant une DE plus élevée qu'au repos alors que l'exercice est une AP qui est planifiée, structurée et répétitive dans le but d'améliorer ou maintenir la condition physique (SCPE, 2004). Malgré le fait que l'objectif de l'intervention de l'AP peut être de vouloir atteindre une masse corporelle idéale, il est important de souligner que de s'engager à faire de l'exercice fournit des bénéfices pour la santé, et ce, même s'il y a absence d'une perte de masse corporelle significative (Penedo et Dahn, 2005). Ceci est en lien avec une recommandation

d'une diminution de 5%-10% de la masse corporelle qui s'avère être bénéfique pour la santé (Lau, 2007).

1.4 Causes

Alors que l'intérêt face à l'étiologie de l'obésité s'est accru dans les dernières années, il y a encore de la controverse à savoir s'il y a une cause en particulier qui est plus importante que les autres. Certaines études supportent que la génétique est un des facteurs majeurs affectant la balance énergétique, tandis que d'autres s'intéressent à l'environnement de l'individu (Bouchard, 2009; Tremblay et al., 2004). Lorsque l'on regarde sur le plan génétique, le statut pondéral des parents est grandement associé au statut pondéral de la progéniture jusqu'à 5 ans et il prédit les risques d'obésité à l'âge adulte (Bouchard, 2009). Pour sa part, l'héritabilité du poids à la naissance atteint environ 30% (Bouchard, 2009). Tandis que le profil génétique de la plupart des populations est plutôt stable et n'a pas eu de changements dramatiques, le 20^e siècle est un temps de transition historique caractérisée par des changements environnementaux importants qui influencent la diète et les habitudes de vie (Tremblay et al., 2004). De plus, la modernisation a également été accompagnée par la montée du stress et de la pollution environnementale qui tous deux, influencent la balance énergétique (Tremblay et al., 2004). De nos jours, on peut constater que plusieurs facteurs alimentent l'obésité en se combinant de façon complexe. Ces facteurs qui sont entre-autres environnementaux, génétiques, sociaux, culturels et économiques viennent jouer un rôle sur la balance énergétique (dépense énergétique et ingestion calorique) de l'individu. Une façon de représenter l'influence de plusieurs facteurs sur la balance énergétique est la toile causale de

l'International Obesity Task Force qui permet entre autres de voir les nombreuses interrelations entre ces facteurs (GTPPP, 2011; Tableau III). Un exemple potentiel serait le suivant : l'industrialisation a permis à l'invention de la voiture de devenir accessible pour la majorité de la population au niveau mondial. Depuis, sa popularité a augmenté ainsi que son utilisation pour les longs voyages comme les petits déplacements. Elle facilite le déplacement, mais en même temps diminue la DE des utilisateurs, ce qui peut causer une balance énergétique positive et mener à l'obésité. En lien avec cet exemple, Poston et Foreyt (1999) font en effet remarquer que les américains dépensent très peu d'énergie durant une journée typique avec l'abondance des services favorisant un mode de vie plus sédentaire : voiture, ascenseur, escalier roulant, télécommande pour télévision et ouvre-porte de garage. L'industrialisation et les technologies avancées ont favorisé la réduction des travaux physiques quotidiens et ont considérablement réduit la DE nécessaire de la vie quotidienne (Tremblay et al., 2004).

Peu importe les facteurs présents dans la toile causale, tous convergent vers la DE, l'IC ou les deux. Par exemple, Thivel et al. (2013) mentionnent que le temps passé à regarder la télévision et jouer aux jeux vidéo n'implique pas seulement une DE basse, mais aussi accroît la fréquence et la consommation d'énergie ingérée indépendamment de la sensation d'appétit puisque le fait que regarder la télévision cause un délai quant à la sensation de satiété. Selon les auteurs, une partie importante de l'IC des enfants et des adolescents se trouve à être consommée devant la télévision. Dans ce contexte, il y a de plus une augmentation de consommation d'aliments tels que les breuvages sucrés, les grignotines et d'autres nourritures denses accompagnées d'une diminution d'aliments sains tels que les fruits et les légumes. Il

est impossible pour le moment de dire hors de tout doute si l'épidémie d'obésité en Amérique du Nord est causée principalement par la hausse de l'inactivité physique ou par une ingestion énergétique plus riche en calories. Par contre, que ce soit l'un ou l'autre ou une combinaison des deux, ils ont favorisé la prise de poids menant à un surpoids et à l'obésité (Katarzyk et Janssen, 2004).

Tableau III : Facteurs impliqués dans le développement de l'obésité

Facteurs internationaux	Facteurs nationaux/régionaux	Facteurs de la communauté	Facteurs individuels	
Globalisation des marchés	Politiques d'éducation	Transport public	Occupation	Génétique
	Politiques de transport	Sécurité	Déplacements	
Industrialisation	Politiques d'urbanisation	Aménagement urbain	Loisirs	Dépense d'énergie
	Politiques de santé	Disponibilité et accessibilité alimentaires	Activités sportives	Apport alimentaire
Médias et marketing	Politiques alimentaires	Publicité et médias	Alimentation	
	Politiques familiales	Revenus	Image corporelle	
	Politiques culturelles			
	Politiques économiques			

Population : Prévalence des problèmes liés au poids : obésité et préoccupation excessive à l'égard du poids

Adapté de GTPPP (2011)

2. Lien entre activité physique et ingestion calorique

Dans le contexte de la balance énergétique, l'AP est souvent utilisée pour son influence directe sur la DE. Par contre, il a été démontré que l'AP avait aussi des répercussions sur l'IC (Thivel et al., 2013). Dès 1956, une étude de Mayer et al. a démontré que la consommation d'aliments était régulée en augmentant l'IC afin de compenser pour la DE. Cependant, la croyance que plus la pratique de l'AP est élevée, plus grande sera l'IC n'est pas nécessairement véridique. Depuis les années 1980 et de façon plus marquée depuis les années 1990, les chercheurs ont commencé à s'intéresser à un autre aspect de la relation entre la DE et l'IC, soit l'effet anorexigène de l'AP.

Selon l'analyse des travaux de King et al. cités par Whybrow et al. (2008), il existe une relation entre la DE et l'IC, mais sans savoir exactement si elle est à sens unique, soit l'augmentation de l'AP va mener à une augmentation de l'IC. Une recension faite par Blundell et King (1999) sur les effets de l'exercice sur l'IC souligne que seulement 19% des études indiquent une augmentation de l'IC suite à une séance d'exercice, tandis que 65% des études n'identifiaient aucun changement et 16% notaient une diminution de l'IC. Les populations à l'étude dans cette recension étaient composées d'hommes et de femmes de poids normal, mais aussi d'individus en surpoids ou obèses. Il a donc été possible de conclure qu'à court terme, une séance d'exercice n'augmente pas nécessairement l'IC afin de compenser la DE (Blundell et King, 1999). King et al. (1997) spécifient pour leur part que l'exercice d'intensité élevée, qui augmente substantiellement la DE, n'augmente pas automatiquement la faim ou l'IC dans les 48 heures qui suivent (King et al., 1997). À court et à moyen terme, les résultats des

interventions varient et on observe une augmentation de l'ingestion, aucun changement et une diminution de l'ingestion suite à l'exercice (Whybrow et al., 2008). Globalement, les évidences supportent le concept qu'un niveau élevé d'AP peut aider au contrôle et au maintien du poids corporel, soit en augmentant la DE pour s'équilibrer avec l'IC ou soit en augmentant la DE à tel point qu'il sera difficile pour l'individu d'ingérer assez de calories pour compenser et donc d'avoir une balance énergétique positive (Blundell et King, 1999). De façon intéressante, Thivel et al. (2013) ajoutent que l'impact d'une séance d'AP sur la balance énergétique est dû majoritairement à l'effet qu'elle apporte sur l'IC et non à la DE comme il est communément pensé.

2.1 Effet anorexigène

Tel que mentionné précédemment et corroboré par une récente recension des écrits, la majorité des études résultent en aucun changement de l'IC ou une diminution de l'IC suite à l'exercice alors qu'une minorité d'études rapporte une augmentation de l'ingestion (Farah et al., 2012). Cet effet de diminution de l'IC a principalement été étudié à court terme, soit après une seule séance d'exercice. Si l'IC n'est pas augmentée pour compenser la DE de l'exercice, il en résulte donc un déficit énergétique. Des effets hormonaux et métaboliques expliqueraient ces effets de l'exercice (Hagobian et Braun, 2010). Broom et al. (2007) ont fait entre autre ressortir l'effet de l'exercice sur une hormone, la ghréline totale présente sous forme acylée. La concentration plasmatique de ghréline et l'effet de l'exercice sur celle-ci ont déjà fait l'objet d'études (Burns et al., 2007; Schmidt et al., 2004), mais l'étude de Broom et al. (2007) est une des premières examinant la concentration de ghréline sous forme acylée lors de

l'exercice. La ghréline acylée est sécrétée par l'estomac (Kojima et al., 1999) et elle est l'hormone stimulant l'appétit (Cummings, 2006). La majorité des études antérieures se concentraient sur la concentration totale de ghréline, qui est composée d'environ 80-90% sous forme non acylée (Ghigo et al., 2005). L'importance de l'étude de Broom est qu'elle indique que la forme acylée de la ghréline est celle qui a un impact sur l'appétit et qu'elle répond différemment à un stimulus d'exercice que la ghréline totale (Broom et al., 2007). Dans son étude, Broom et al. (2007) avaient recruté neuf participants masculins physiquement actifs âgés de 19 à 25 ans. Les participants prenaient part à deux visites expérimentales administrées de façon aléatoire : 1) Exercice = course d'une heure suivie d'une période de huit heures de repos; 2) Témoin = une période de neuf heures de repos. Un total de 12 prélèvements sanguins étaient effectués lors de chaque visite. Les résultats ont fait ressortir qu'à 8h30, soit 30 minutes après le début de la course, la concentration plasmatique de ghréline acylée était significativement plus basse comparativement à la visite témoin. Suite à la cessation de l'exercice, cette concentration augmente graduellement pour tendre à rejoindre les niveaux de la visite témoin (Figure 2). L'aire sous la courbe de la concentration plasmatique de ghréline acylée était significativement différente pour la visite Exercice comparativement à la visite témoin, ayant une aire 38% plus basse lors des trois premières heures pour la visite avec exercice et 35% plus basse pour la durée totale de la visite. De façon intéressante, l'aire sous la courbe pour la sensation de la faim a aussi une différence significative dans les trois premières heures. En effet, celle du groupe témoin était plus élevée que celle du groupe d'exercice (valeurs moyennes de 32 vs 24). La différence d'aire sous la courbe pour les six premières heures tendait aussi à être différente, mais en indiquant cette fois que la faim tendait à être plus augmentée pour le groupe Exercice (valeurs moyennes de 44 vs 50; $p = 0,056$) pour le groupe

témoin et le groupe d'exercice. Donc l'appétit est réduit pendant et pour une courte durée après l'exercice, tout comme la concentration plasmatique de ghréline acylée. Cependant, la diminution de la faim et de la concentration plasmatique de ghréline acylée lors de l'exercice, ces paramètres tendent à remonter dans les heures qui suivent (Broom et al., 2007; Figure 2). En effet, la sensation de faim a augmenté quelques heures après l'exercice et même qu'elle semble prendre le dessus après le dîner lors de la journée avec exercice comparativement à la journée de repos, et ce, bien que la ghréline acylée tende à continuer à être inférieure au niveau de contrôle (Broom et al., 2007). Avec de tels résultats, il est possible d'émettre l'hypothèse que l'effet anorexigène est transitoire. L'étude de Broom et al. (2007) présente toutefois une limite importante à laquelle nos travaux vont tenter de pallier. La sensation d'appétit a été mesurée, mais l'IC était fixée pour ce qui est du contenu calorique et en macronutriments, soit 38% en glucides, 10% de protéines et 52% en lipides (Broom et al., 2007). Donc, il n'est pas possible de savoir si l'IC est différente. Ce phénomène est au cœur du projet présenté dans ce mémoire.

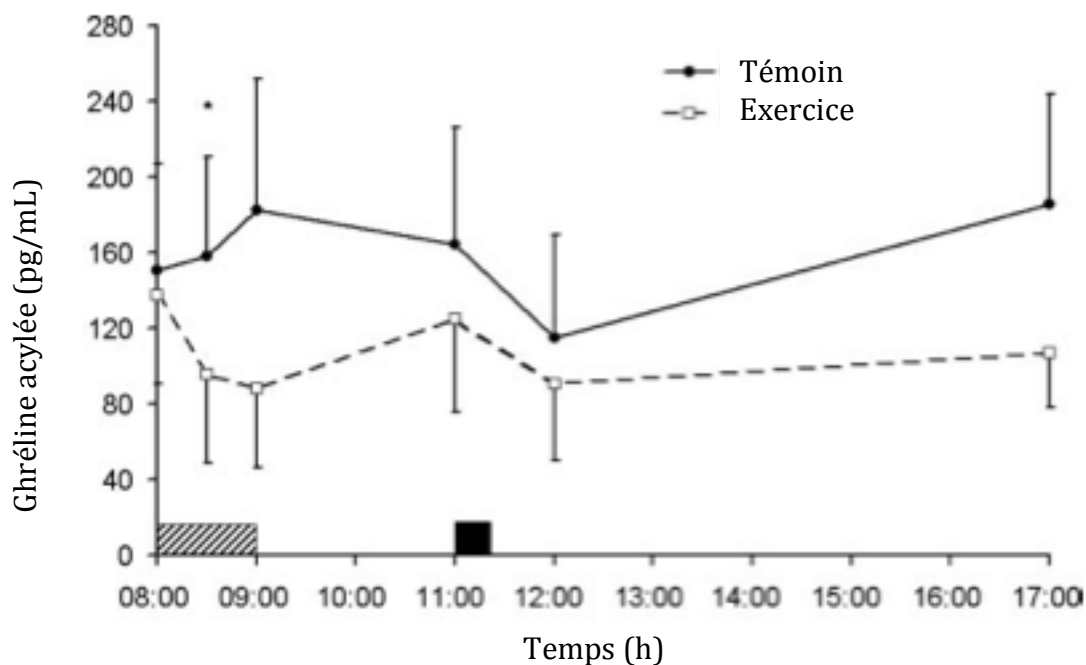


Figure 2 : Concentration plasmatique de ghréline acylée durant la visite avec exercice et repos. Les valeurs sont moyenne \pm écart type pour neuf participants. Le rectangle hachuré, course sur tapis; le carré noir, consommation du repas. *Différence significative par rapport à la visite repos, après ajustement de Bonferroni, $p = 0.001$. Source : Broom et al. (2007).

2.2 Quotient de satiété

Les échelles visuelles analogues sont souvent utilisées dans les études où l'IC ou le niveau d'appétit sont des variables d'intérêts. Concrètement, elles permettent de quantifier la perception/sensation subjective des paramètres de satiété du participant sur une ligne horizontale continue de 100 ou 150 millimètres (Chaput et al., 2010; Flint et al., 2000; Hill et Blundell, 1986). À chaque extrémité de l'échelle se trouvent les deux sensations extrêmes opposées que l'on veut quantifier. Le participant trace une ligne verticale sur cette échelle en

fonction de sa perception/sensation selon la question qui lui est posée et la quantification des mesures est faite en mesurant la distance à partir de la gauche jusqu'à la ligne verticale faite par le participant (Chaput et al., 2010). Pour une échelle dont la question est : « Dans quelle mesure avez-vous l'impression d'avoir faim? », les deux bouts de la ligne sont représentés par : « Pas faim du tout » et « Vraiment très faim » (Figure 3). Il est possible de documenter la sensation de faim du participant à plusieurs moments durant l'étude et cet exemple est seulement une échelle parmi plusieurs. Hill et Blundell (1986) ont utilisé huit différentes échelles afin de quantifier l'appétit et le désir de manger des types de nourriture spécifique (sucré, salé, savoureux et gras). D'autres échelles permettent de quantifier la palatabilité (ex. : appétence, appréciation du repas) des repas offerts (Flint et al., 2000). Globalement, cette approche est celle préconisée pour mesurer les différentes composantes du profil de satiété des participants.

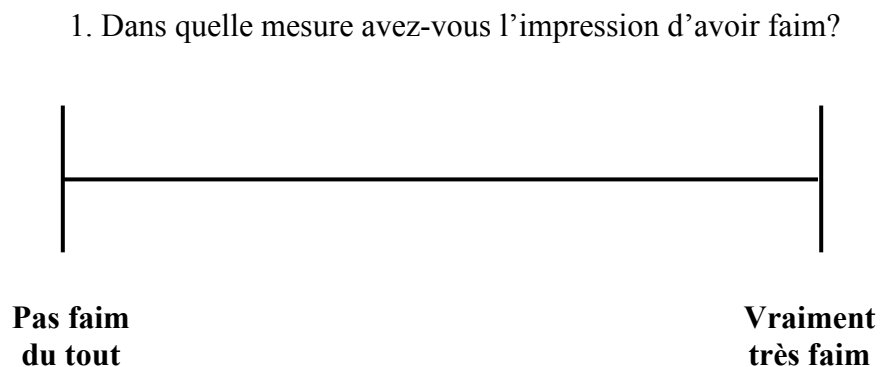


Figure 3 : Exemple d'une échelle visuelle analogue. Adapté de Hill et Blundell (1986).

Afin d'apprécier le lien entre les perceptions/sensations d'appétit et l'IC, il est possible d'associer les réponses à ces échelles à l'IC d'un repas en calculant le quotient de satiété

(Drapeau et al., 2005). Dans la formule du quotient de satiété, on soustrait la faim pré-repas à la faim post-repas pour ensuite diviser la différence par l'IC du repas et ensuite multiplier par 100 afin d'avoir les unités en mm/100 kJ (Figure 4). Il est ainsi possible de savoir le pouvoir rassasiant par tranche de 100 kilojoules. Plus le quotient de satiété est élevé, plus les 100 kJ sont rassasians. Les sensations d'appétit sont de bons prédicateurs relatifs de l'IC (Drapeau et al., 2005). Par exemple, le quotient de satiété lié à la plénitude prédirait selon Drapeau et al. (2005) l'IC chez la femme.

$$\text{Quotient de satiété (mm/kJ)} = \frac{[\text{SA pré-repas (mm)} - \text{SA post-repas (mm)}]}{\text{Ingestion calorique du repas (kJ)}} \times 100$$

Figure 4 : Formule du quotient de satiété. SA = sensation d'appétit; mm = millimètre; kJ = kilojoule. Formule adaptée de Drapeau et al. (2005).

2.3 Dissociation

Dans les études portant sur l'effet anorexigène ou la sensation d'appétit, des échelles visuelles analogues sont souvent utilisées. Certaines études démontrent que la sensation de faim peut diminuer, et ce, majoritaire pendant la séance d'exercice (Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; King et al., 1994; King et al., 2010a). Cependant, cette diminution de la faim tend à remonter suite à l'arrêt de l'exercice. Il est toutefois possible de remarquer dans plusieurs études que, malgré un score élevé sur les échelles avant le repas, les participants ne mangent pas nécessairement plus (Deighton et al., 2012; Imbeault et al., 1997; Pomerleau et al., 2004; Thivel et al., 2011). Par exemple, après une séance d'AP, le participant peut avoir la même

sensation d'appétit qu'au repos, mais lorsque son IC est calculée, l'analyse révèle qu'il n'a en fait pas mangé plus que la normale voire moins, et ce, tout en rapportant être aussi rassasié. C'est entre autre ce que l'étude de Thivel et al., (2011) a démontré. Ceci vient bonifier le fait que de mesurer la faim n'est pas nécessairement un bon indicateur pour prédire l'IC. C'est pourquoi les études commencent de plus en plus à calculer l'IC et par le fait même le quotient de satiété qui s'avère être un meilleur prédicteur de l'IC.

3. Effet anorexigène et ses facteurs associés

Plusieurs éléments jouent un rôle sur le lien entre la DE et l'IC. Ceux-ci sont directement liés à la nature même de l'AP, aux modalités de celle-ci ainsi qu'aux les caractéristiques de l'individu. Les prochaines sections présentent les facteurs connus à ce jour, soit l'intensité de l'exercice, le type d'exercice, le statut pondéral et le sexe du participant.

3.1 Intensité de l'activité physique

L'intensité de l'AP est un des premiers facteurs étudiés ayant un impact sur l'IC de par son effet anorexigène. Une des premières études ayant regardé l'effet de l'exercice à basse et à haute intensité sur la sensation d'appétit a été réalisée par le groupe de King et al. (1994) chez 12 participants masculins sans surcharge pondérale et en santé. Dans cette étude, il y avait trois conditions : 1) repos, assis où les participants pouvaient lire ou écrire pendant ~ 45 minutes; 2) exercice à basse intensité en pédalant sur un ergocycle à 30% du VO_2 max (consommation maximale d'oxygène) pendant ~ 60 minutes; et 3) exercice à intensité élevée en pédalant sur un ergocycle à 70% du VO_2 max pendant ~ 30 minutes. Les auteurs n'ont pas

remarqué de différence entre l'énergie dépensée dans les deux conditions avec exercice. Par contre, les échelles visuelles analogues ont permis de faire ressortir que le niveau de faim était significativement plus bas, supprimé selon les auteurs, pendant et suite à l'exercice intense. Toutefois, cette différence ne perdurait pas et il n'y avait aucune différence significative lorsque la faim était mesurée juste avant le repas. Il est à noter que le repas était servi rapidement après l'effort, soit 15 minutes suivant l'arrêt de l'exercice. Dans cette étude, il est précisé que l'exercice de basse intensité n'a pas produit de suppression de la faim, et ce, pendant ou suivant l'exercice. Cette étude montre une sensation de faim qui diminue lors de l'exercice intense et qui remonte par la suite pour ne plus différer des autres conditions. Conséquemment, il n'est pas surprenant de noter qu'il n'y a pas eu de différence pour l'IC lors des trois visites. Une différence particulière de cette étude était que les participants préféraient manger plus tard leur repas suite à l'exercice intense comparativement au repos. D'autres études supportent le fait que l'exercice d'intensité élevée présente un avantage. Il a été rapporté que la perception de la faim et la consommation anticipée de nourriture étaient supprimées transitoirement durant l'exercice intense (Becker et al., 2012; Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; King et al., 2010a; King et al., 2011). King et al. (2010a) mentionnent que les mécanismes responsables du changement dans l'appétit en réponse à l'exercice ne sont pas encore bien définis, mais que le rôle des hormones commence à recevoir de l'attention. Par exemple, une concentration plasmatique de ghréline acylée, une hormone orexigénique (Cummings, 2006), est significativement plus basse pendant et à la fin de l'exercice intense.

Il y a plusieurs mythes sur l'obésité et parmi ceux-ci, plusieurs concernent l'intensité de l'AP (Casazza et al., 2013). Imbeault et al. (1997) mentionnent la croyance au sein des

professionnels de santé que l'exercice de basse intensité et de longue durée était le plus approprié pour traiter l'obésité. En effet, une intensité moyenne correspondant à 40% du VO_2max optimise l'oxydation des lipides, et ce, autant pour les individus avec ou sans surplus pondéral (Lazzer et al., 2007). Cette notion est intéressante pour l'oxydation des lipides, par contre, il n'y a pas que ce facteur qui est important lorsqu'on recherche à perdre du poids. La perte de masse corporelle se produit donc lorsque cette balance est négative, soit en augmentant la DE, en diminuant l'IC ou une combinaison de ces deux dernières suggestions (Kino-Québec, 2008). Il est donc important d'associer ces deux aspects dans la démarche et possiblement d'incorporer la notion de l'effet anorexigène pour optimiser une balance énergétique négative.

Il est connu que l'exercice à intensité moyenne (marche rapide pour 20 minutes) et une collation (à base de chocolat) ont le même effet sur l'augmentation du niveau de satiété et l'augmentation de la sensation de plénitude et que ces deux stratégies mènent à une IC similaire lors du repas subséquent (Tsofliou et al., 2003). Cette observation ne fait toutefois pas consensus. En étudiant la marche rapide à intensité moyenne (45% VO_2max) pour une durée de 60 minutes, King et al. (2010b) n'ont pas trouvé de modification de l'appétit, de l'IC ou de l'hormone stimulant l'appétit, soit la ghréline acylée comparativement au repos. Ces auteurs ajoutent que ces résultats sont en accord avec des travaux précédents où l'observation d'une suppression d'appétit pendant et suite à l'exercice survient à intensité élevée (>60% du VO_2max). Tel que mentionné dans une recension des écrits récente de King et al. (2013), un nombre grandissant d'études suggèrent que la concentration plasmatique de ghréline acylée est transitoirement supprimée en réponse à une séance d'exercice aigu réalisée à intensité

moyenne ou élevée. De plus, Imbeault et al. (1997) démontrent que pour une DE semblable découlant d'un exercice à haute et à basse intensité (72% et 35% du VO₂max), l'IC tendait à être plus basse suite à l'exercice d'intensité élevée. Ces auteurs ajoutent que leurs résultats démontrent la capacité d'exercice à intensité élevée à promouvoir une plus grande perte de gras résultant de l'effet de l'exercice sur l'IC (Imbeault et al., 1997). Sur la base des connaissances actuelles, l'exercice d'intensité élevée est le plus favorable afin d'avoir un impact sur l'appétit, l'IC et potentiellement sur le contrôle pondéral.

3.2 Modalité de l'activité physique

Le type d'entraînement est une modalité complémentaire à considérer de pair avec l'intensité. À ce jour, la majorité des études ont porté sur l'exercice de type aérobie. En effet, l'effet anorexigène arrive principalement lorsque l'exercice est d'intensité élevée, et ce, indépendamment du type d'exercice, i.e. course, ergocycle, natation et course par intervalle (Deighton et al., 2012; King et al., 2011; Wasse et al., 2013). Il est à noter que, de par sa nature, l'exercice de résistance ou musculation est rarement pratiqué à une intensité élevée. À ce jour, seules les comparaisons entre des exercices de type résistance et ceux aérobie ainsi que la combinaison d'exercices aérobie et de résistance ont été étudiées dans le contexte de l'effet anorexigène de l'AP.

Une étude par Broom et al. (2009) a comparé l'effet de l'exercice aérobie et de résistance sur la faim et les concentrations plasmatiques de ghréline acylée et d'un peptide, le peptide YY, le tout chez des hommes en santé. L'exercice aérobie était de la course sur tapis roulant à

intensité élevée (70% du $VO_2\text{max}$), soit une intensité qui a été démontrée comme favorable pour réduire l'IC, le tout pour une durée de 60 minutes. Les exercices de résistance étaient réalisés avec des poids libres (10 exercices) pour une durée de 90 minutes (trois séries de 12 répétitions à 80% des 12 répétitions maximales). Cette étude a démontré que la faim était réduite pendant et pour une courte durée (environ une heure) suite à l'exercice. Toutefois, la réduction de la faim arrivait plus tardivement lors de l'exercice de résistance et elle était plus importante pour l'exercice aérobic. Alors que, la concentration plasmatique de ghréline acylée était réduite lors de ces deux conditions, celle du peptide YY a augmenté avec l'exercice aérobic. Ce peptide, composé de 36 acides aminés et relâché par les cellules de l'intestin, a pour effet une réduction de l'appétit. Bien que l'ingestion *ad libitum* n'ait pas été documentée, cette étude suggère que l'exercice de résistance apporte une réponse intéressante, mais inférieure de celle de l'entraînement aérobic, et ce, pour un temps d'entraînement 50% plus long. Ces résultats sont confirmés par Laan et al. (2010) qui ont trouvé que la faim diminuait lors de l'exercice aérobic intense et non durant l'exercice de résistance.

La combinaison d'exercices aérobic et de résistance, une méthode qui est souvent utilisée pour traiter l'obésité, s'avère intéressante à étudier et à considérer. Une première étude à long terme a regardé l'effet de la combinaison de l'exercice aérobic et de résistance chez les adolescents obèses sur les facteurs anorexigénique/orexigénique (Carnier et al., 2013). Le groupe avec exercices aérobics exécutait 60 minutes sur tapis roulant à une fréquence cardiaque correspondant au seuil ventilatoire 1 (~50-65% du $VO_2\text{max}$) et le groupe avec combinaison exécutait 30 minutes d'exercice aérobic à la même intensité et 30 minutes d'exercices de résistance, et ce, trois fois par semaine. Les exercices de résistance comprenaient huit

exercices pour trois séries de 15-20 répétitions (les charges augmentaient et les répétitions diminuaient au fil des huit semaines). Il a été démontré que le groupe qui faisait la combinaison d'exercices comparativement à ceux qui exécutait seulement de l'aérobie avait une plus grande difficulté à contrôler leur IC à la fin de la période d'intervention de 6 mois (Carnier et al., 2013). Alors que le concept de contrôle de l'IC n'est pas bien défini, les auteurs mentionnent toutefois que cette difficulté serait due entre autre à une augmentation de la sécrétion du facteur orexigénique ArGP (agouti-related protein), un neuropeptide produit dans le cerveau qui augmente l'appétit et réduit le métabolisme ainsi que la DE (Carnier et al., 2013). Malgré ce fait, il n'y a pas eu de différence dans la perte de poids à 6 mois et à la fin de l'intervention (1 an) entre ce groupe et celui avec seulement de l'exercice aérobie. Les deux groupes ayant perdu environ 10 kg suite au programme.

3.3 Statut pondéral

Outre l'importance des modalités de l'exercice afin de favoriser l'effet anorexigène, il est aussi important de prendre en compte les caractéristiques de l'individu. Le statut pondéral est l'un des facteurs importants à considérer. Globalement, on peut remarquer que les personnes en surplus de poids ont une IC plus élevée suite à l'exercice que les personnes de poids normal. Par exemple, des femmes ayant un surplus de poids avaient ingéré plus de calories que celles de poids normal suite à un exercice à intensité moyenne [2412 kJ (576 kcal) vs. 1503 kJ (359 kcal)] ainsi que comparativement à une condition de repos [2198 kJ (525 kcal) vs. 1846 kJ (441 kcal)] (George et Morganstein, 2003). Fait plus intéressant, les femmes obèses ne modifiaient pas leur IC lors de deux visites avec exercice (intensité moyenne vs élevée), alors qu'il y a eu une différence entre les deux visites chez les femmes non obèses, soit une IC plus

basse de 582 kJ pour une séance à intensité élevée (Kissileff et al., 1990). De plus, l'ingestion de lipides était plus élevée chez les femmes en surplus de poids comparativement à celles de poids normal (32% vs 20%, exercice; 33% vs 25% repos) et tendait à être plus basse suite à l'exercice, mais seulement chez les femmes de poids normal (George et Morganstein, 2003).

De façon surprenante, la concentration plasmatique de ghréline acylée est plus basse chez les individus obèses en condition de repos et d'exercice que pour les personnes non obèses (Marzullo et al., 2008). Par contre, tous bénéficiaient d'une baisse de ghréline acylée lors de l'exercice comparativement au repos (Marzullo et al., 2008). Considérant l'effet orexigénique de la ghréline acylée, ceci laisse suggérer que peu importe le statut pondéral de l'individu, il y aurait une diminution de l'appétit voire même une diminution d'IC suite à l'exercice. Cette hypothèse reste à être vérifiée dans un devis où l'IC serait mesurée. La recherche dans ce domaine reste embryonnaire et Gregersen et al. (2011) ne rapportent aucune différence entre la sensation d'appétit entre les groupes de différents statuts corporels dans la vie quotidienne.

3.4 Sexe

Le sexe de l'individu est une autre caractéristique à prendre en compte lors de la pratique de l'AP et de son effet sur l'IC. La différence entre les sexes pour la perte de poids en réponse à l'exercice peut provenir entre autre de l'augmentation de l'IC et d'une DE plus basse lors de l'exercice chez la femme comparativement à l'homme (Donnelly et Smith, 2005). Deux études menées dans le laboratoire du groupe de Donnelly, soit une avec des femmes (Donnelly et al., 2000) et l'autre avec des hommes et des femmes (Donnelly et al., 2003) indiquent qu'avec un

programme d'exercice, il y a environ le même nombre de participantes qui ont perdu et gagné du poids, tandis que les hommes avaient pratiquement tous subi une perte de poids. Pour l'étude menée en 2000, le groupe de femmes effectuant des exercices aérobies intenses (60-75% VO₂max pour 30 minutes; 3 fois/semaine) a eu une perte de poids significative de deux kilogrammes comparativement aux valeurs de départ, tandis que celui prenant part aux exercices d'intensité moyenne (marche rapide pour 15 minutes; 2 fois/jour; 5 fois/semaine) n'en a eu aucune (Donnelly et al., 2000). Cette première étude indique que les femmes peuvent perdre du poids via une intervention en AP. Pour ce qui est de l'étude en 2003, elle révèle que les hommes ont perdu plus de poids que les femmes. En effet, les femmes ont prévenu un gain pondéral tandis que les hommes ont perdu du poids avec un entraînement aérobique (55%-70% VO₂max; 20-45 minutes), tandis que les femmes du groupe sans exercice ont eu une augmentation de poids, d'IMC et de masse grasse (Donnelly et al., 2003).

La différence entre les sexes pour la perte de masse grasse peut résulter, au moins en partie, de changements dans la circulation d'hormones clés du métabolisme énergétique (ex. : la ghréline acylée, l'insuline, la leptine, l'hormone thyroïde, etc.) qui servent d'intermédiaires à la balance énergétique (Hagobian et al., 2009). Par exemple, après 12 semaines d'entraînement, les femmes avaient des concentrations de leptine et d'insuline plus basses à jeun, ce qui favorise l'IC, alors qu'aucun changement n'est noté pour les hommes (Hickey et al., 1997). Ces données fournissent des indices que les hormones jouant un rôle sur la régulation de l'énergie sont influencées par l'exercice aérobique et répondent différemment selon le sexe en stimulant plus l'appétit chez la femme (Hagobian et al., 2009). Afin d'avoir une meilleure compréhension des différences entre les sexes, deux études ont été réalisées à partir du même

protocole, l'une chez la femme (Pormerleau et al., 2004) et l'autre chez l'homme (Imbeault et al., 1997). Trois conditions étaient testées : 1) condition de repos (témoin); 2) condition avec exercice à basse intensité (35-40% du $VO_2\text{max}$); et 3) condition avec exercice à haute intensité (70-75% du $VO_2\text{max}$). Dans les deux études, il n'y a eu aucune différence dans la DE des deux conditions avec exercice tel que dicté par le protocole. Il est intéressant de remarquer qu'il n'y a pas eu de différence entre les trois conditions pour l'IC chez l'homme, mais qu'une augmentation de 532 kJ chez la femme suite à la condition avec exercice intense était soulignée, et ce, comparativement à la condition repos. Il est donc important de ne pas prendre pour acquis que les résultats obtenus sont les mêmes pour les deux sexes. Par contre, il est à noter que pour l'étude avec les femmes, le repas était servi une heure suivant l'exercice, tandis que celle avec les hommes, le repas était servi dans les 15 minutes suivant l'exercice. Le temps entre le l'exercice et le repas pourrait être un facteur à considérer et à normaliser afin de comparer l'effet du sexe dans des études ultérieures.

Le cycle menstruel est aussi un élément important à considérer dans la différenciation de l'IC selon le sexe. La femme a tendance à avoir une IC plus basse lors de la phase d'ovulation tandis que l'IC augmente dans la seconde moitié du cycle, soit la phase lutéale (Buffenstein et al., 1995; McNeil et al., 2012). Les femmes souffrant de symptômes prémenstruels sont plus prédisposées à l'envie de nourriture plus sucrée et grasse et donc, cela pourrait expliquer une des raisons du gain pondéral (McNeil et al., 2012). Supportant ces résultats, Gregersen et al. (2011) mentionnent que les femmes en phase d'ovulation ont une sensation de faim moins élevée que celle dans la phase de menstruation. Certaines études, comme celle de Thivel et al. (2011), n'ont toutefois pas trouvé de différence d'IC entre les filles et les garçons adolescents

et obèses. En effet, tous ont diminué leur IC lors de la condition avec exercice d'intensité élevée. Thivel et al. (2011) mentionnent que l'appétit post-exercice et la régulation d'énergie consommée chez les personnes obèses ne semblent pas être affectés par la différence de dimorphisme sexuel survenant durant l'adolescence. De même que chez les adolescents, les hormones influençant l'appétit ainsi que l'évaluation subjective de l'appétit n'ont pas été affectées tant pour les hommes que pour les femmes par la séance d'exercice intense (Hagobian et al., 2013). Il est à noter que dans cette étude, les femmes étaient au tout début de leur phase folliculaire (1 à 4 jours après les menstruations) du cycle menstruel et donc, l'effet du cycle menstruel n'était pas étudié en soi mais, considéré dans l'étude (Hagobian et al., 2013). L'extrapolation de ces résultats à une autre période du cycle est, sur la base des connaissances actuelles, toutefois questionnable et nécessitera d'autres travaux. En somme, les femmes auraient tendance à avoir une IC similaire ou plus élevée que les hommes suite à l'exercice.

Enjeux du projet

Après considération des éléments discutés ci-haut, soit les modalités de l'AP, le statut pondéral et le sexe dans le contexte de la DE et d'IC, il nous apparaît qu'un paramètre qui pourrait être un enjeu important n'a pas été étudié. En effet, le temps qui s'écoule entre la séance d'exercice et le repas pourrait venir s'ajouter aux modalités de l'exercice à considérer. Certains résultats suggèrent que l'effet anorexigène de l'AP est transitoire, et ce, bien qu'aucune étude n'ait précisément porté sur ce point. Une suppression de la faim survient par exemple à la suite d'un exercice d'intensité élevée, mais cette suppression serait de courte durée, les valeurs de la faim revenant à leur valeur de base à l'intérieur des deux heures suivant l'arrêt de l'exercice (Broom et al., 2007). Cette remontée de la faim est concomitante à la remontée de la ghréline acylée, une hormone orexigénique (Broom et al., 2007). Alors que King et al. (1994) mentionnent que la suppression de l'appétit est de courte durée et que l'appétit retourne aux valeurs de la condition contrôle (sans exercice) au moins de 15 minutes post-exercice. Cependant, lorsqu'on regarde le protocole utilisé dans ces études, on peut remarquer que le repas était servi soit près (à peine 15 minutes) ou loin (jusqu'à deux heures) suivant l'arrêt de la séance d'exercice. À ce jour, aucune étude n'a comparé l'effet du positionnement de l'exercice sur l'IC et les paramètres associés. La prochaine section présente l'article intitulé: *Optimal timing of physical activity to maximize the anorexigenic effect.*

Manuscript

Title of the manuscript: Optimal timing of physical activity to maximize the anorexigenic effect

Authors: Marie-Hélène Albert^{1,2}, Vicky Drapeau^{3,4}, and Marie-Eve Mathieu^{1,2}

1 Department of kinesiology, University of Montreal, Montreal (QC), H3C 3J7

2 UHC Sainte-Justine Research Center, Montreal (QC), H3T 1C5

3 Department of physical education, University Laval, Quebec (QC) G1V 0A6

4 Research Center : University Institute of Cardiology and Pneumology of Quebec,
Quebec (QC) G1V 4G5

Submitted to the British Journal of Nutrition

Abstract

Background: Physical activity can suppress appetite and energy intake, a phenomenon also called exercise-induced anorexia. However, orexigenic hormone levels decrease during exercise and rapidly increases following the effort. Until now, no study has examined the optimal timing of physical activity to maximize this anorexigenic effect.

Objective: To determine if energy intake is reduced when exercise immediately precedes the meal compared to a condition in which a pause is present between the exercise and the meal.

Design: Twelve non-obese boys (15-20 years old) took part in the study. Each subject was individually evaluated performing the two following tasks in a randomized order: 1) Ex=30-minute exercise bout (70% VO₂max) followed immediately by an *ad libitum* buffet at noon; 2) Ex_{pause}=30-minute exercise bout (70% VO₂max) followed by a 135-minute waiting period and then an *ad libitum* buffet at noon. The visits were preceded by a standardized breakfast and completed with an *ad libitum* snack in the afternoon and a buffet-type dinner. Appetite sensations were assessed at arrival, before and after each meal with the use of visual analogue scales.

Results: While hunger was similar at all times, energy intake at lunch was lower for the Ex condition than for the Ex_{pause} condition (5,072 vs. 5,718 kJ; $p<0.05$). Interestingly, caloric intake from lipids was lower at lunch, with 1,604 kJ for the Ex condition versus 2,085 kJ for the Ex_{pause} condition ($p<0.05$). No significant difference was noted for the afternoon snack, dinner, carbohydrates and proteins.

Conclusions: This study is the first to investigate the effect of the timing of physical activity on energy intake, and it reveals that being physically active immediately before a meal does play a role in energy intake reduction independently of pre-meal appetite sensations. The absence of compensation during the rest of the day suggests that a negative energy balance, including a reduction in lipid consumption, could be more easily obtained by positioning physical activity just before a meal.

Introduction

Energy balance is central to body weight control, and energy expenditure (EE) and energy intake (EI) are two measures that contribute independently to energy balance (GTPPP, 2011). Interestingly, EE could also indirectly influence energy balance by having an impact on EI (Oscai, 1973; Wilmore, 1983; King et al., 1994). In this field of research, most studies have examined the effect of exercise intensity on appetite sensations (AS) and EI. The authors report that for the same EE, the higher the intensity of the exercise, the greater the hunger and EI suppression will be (Broom et al., 2007; King et al., 1994; Imbeault et al., 1997). In addition to exercise intensity, sex and body weight status are other factors that have been shown to influence EI. In fact, recent studies suggest that after an exercise session, women and obese individuals tend to eat more than men and non-obese individuals to better match their EE and thus avoid a negative energy balance (George and Morganstein, 2003; Hagobian et al., 2009; Pomerleau et al., 2004).

Hormonal factors have been investigated in relation to the exercise-induced anorexia phenomenon, and acylated ghrelin appears to be an important factor to consider. Ghrelin is secreted mostly by the stomach cells (Kojima et al., 1999), and its acylated form stimulates appetite and EI (Broom et al., 2007; Wren et al., 2001). A diminution of that hormone in plasma during and after high-intensity exercise has been documented (Becker et al., 2012; Blundell et al., 2003; Broom et al., 2007; Broom et al., 2009), which aligns with the timing of AS suppression (Becker et al., 2012; Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; King, Miyashita et al., 2010; King, Wasse et al., 2010). However, this phenomenon appears transitory. Indeed,

the AS and plasma acylated ghrelin concentrations increase progressively with time to become not significantly different from the levels of individuals in a control condition without exercise, and this, immediately following the end of exercise (Becker et al., 2012; Broom et al., 2007; Broom et al., 2009).

While the anorexigenic effect of exercise is supported by many studies, to our knowledge, none study addressed whether EI compensation is different depending on whether a meal is served just after an exercise session or with a delay. King et al. (1994) mentioned that the hunger and EI were reduced if the subjects ate within 15 minutes following the exercise, but neither King nor other authors have addressed the following question: is there an optimal time to engage in physical activity to maximize exercise-induced anorexia? We hypothesize that hunger and EI will be decreased more if a meal is eaten just after the exercise than if it is eaten in the following hours. Therefore, the purpose of the present study is to determine in young men with healthy body weight whether EI is reduced when exercise immediately precedes a meal compared to a condition where a pause is present between the exercise and the meal.

Methods

Participants

Twelve non-obese boys (15-20 years old) were recruited from schools near Sainte-Justine University Hospital Center to take part in one preliminary visit and two experimental visits at the laboratory. The participants (1) were not currently following any specific diet; (2) did not have an eating disorder; (3) did not have a metabolic disease or take any medication that could

influence the study results; (4) were not vegetarian or vegan; (5) did not have any intestinal disorders; and (6) were able to read and speak French. The consent form, which was approved by the Sainte-Justine University Hospital Center ethical committee, and the physical activity readiness questionnaire (Canadian Society for Exercise Physiology, 2002) were completed by the subjects and their parents/tutors if the subjects were minors. The subjects were informed about a false hypothesis (related to the cardiac response to exercise, rest and caloric intake) to prevent voluntary control of the main outcome of the study (i.e., EI). A final consent form indicating the real purpose of the study was administered at the end of the last visit and was signed by all of the subjects. Financial compensation (\$12) was provided to the subjects at the end of each visit (preliminary and experimental).

Preliminary visit

Body mass was measured to the nearest 0.1 kg, and body fat percentage was determined using bioimpedance analysis (Tanita BC-418, Tanita corporation of America, Arlington Heights, IL). Height and waist circumference were measured to the nearest 0.5 cm. The subjects' waist circumference measurements were \leq 90th percentile specific to sex and age according to the classification by McCarthy et al. (2001) (< 18 years) or ≤ 94 cm (≥ 18 years; Lean et al., 1995). Body mass index (BMI) was calculated ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), and the subjects were eligible for the study if they had a BMI percentile $\leq 85^{\text{th}}$ specific to sex and age according to the Centers for Disease Control and Prevention curve (< 18 years;) or if they had a BMI $\leq 25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (≥ 18 years; Kuczmarski et al., 2002; Katzmarzyk et al., 2007). The participants had to fall into the non-

obese category for waist circumference if their BMI was above the normal weight threshold. This criterion was added to avoid excluding a participant because of high muscularity.

Maximum oxygen uptake (VO_{2max}) was measured with indirect calorimetry (Quark CPET, COSMED, Italy) during a progressive test on the treadmill adapted from the shuttle test (Léger et al., 1988). The test started at $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and increased by $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ every 2 minutes. The subject was encouraged to exert a maximum effort until he requested to stop the test. The test was considered to reflect a maximum effort when the subject reached a respiratory exchange ratio ($\text{carbon dioxide production} \cdot \text{oxygen consumption}^{-1}$) ≥ 1.1 and/or a maximum heart rate approaching 200 beats/minute based on criteria by Paridon et al. (2006). These results were used to determine the running speed required for subsequent exercise sessions performed at 70% of maximum oxygen uptake. After the maximum oxygen uptake test, each participant ate a buffet-type meal for the first time to provide the first exposure to food outside the experimental visit and to let the participant select his choice of a hot meal for subsequent dinners. More details about the food provided to the participants are presented in the following section.

Experimental visits

All of the participants performed two individual visits (Ex and Ex_{pause}) in random order: on one day, an exercise bout was followed immediately by the buffet-type meal (Ex); on the other day, an exercise bout was followed by a waiting period of 135 minutes and then a buffet-type meal (Ex_{pause} ; see Table 1 for details). Each visit was separated by a minimum of a 5-day

period. On the two visit days, the participants ate a standardized breakfast given beforehand at home between 7:00-7:30 AM. Arrival at the laboratory was scheduled for 8:45 AM, and their compliance with eating breakfast was verified. The testing sequence started at 9:00 AM according to the plan for the participants' visit (Table 1). During morning waiting periods, the participants were engaged in activities such as puzzles, sudoku, hidden word games, reading books and listening to personal music playlists chosen during the first experimental visit. The activities, including order and duration, were replicated for the second experimental visit. The buffet-type meal was served at 12:00 PM, and they were instructed to eat as usual or until satisfaction over the next 30 minutes. The participants were able to leave from 12:30-5:00 PM, wearing a pedometer and taking a prepared snack with them. The second buffet-type meal which includes a hot meal was served for dinner at the laboratory at 5:00 PM, and the participants had a 30-minute period to eat.

The standardized breakfast contained ~ 2993 kJ (white bread: 100 g; smooth peanut butter: 18 g; orange juice: 200 ml; butter: 6.3 g; cheddar cheese: 42 g). The *ad libitum* buffet meal served at lunch and dinner, was based on Arvaniti et al. (2000)'s buffet and was composed of 38 liquid and solid items. For the afternoon period, each subject was given a snack that they could eat completely, in part or not at all: cheese (~50 g), crackers (~25 g) and carrots (~75 g). At 5:00 PM, the *ad libitum* buffet was composed of 35 items (lunch buffet without snack items) and a hot meal. Three different hot meals were offered: macaroni and cheese, fettuccini alfredo or three-mushroom risotto. The same hot meal was served for the two experimental visits. Each food was weighed before and after the meals without the participant knowing. The

subject was informed during the day that he could only eat what he was given except water *ad libitum*.

Visual analogue scales (VAS) were completed by the participant upon his arrival at the laboratory as well as before and after each meal. Desire to eat, hunger, fullness, earlier food consumption, desire for specific food types (sweet, fatty, salty and savory) and meal palatability/appreciation were rated using a 100-millimeter (mm) VAS adapted from Hill and Blundell (1986) and Flint et al. (2000). The satiety quotient, which is a marker of an individual's satiation efficiency, was then calculated for each AS as follows, based Drapeau and al.'s (2005) formula:

$$\text{Satiety quotient (mm}\cdot\text{kJ}^{-1}) = \frac{[\text{Pre-meal AS (mm)} - \text{Post-meal AS (mm)}] \times 100}{\text{Energy content of meal (kJ)}}$$

An indirect calorimetry method was used to quantify the EE associated with the different tasks performed (Quark CPET, COSMED, Italy). The volume and gas composition were measured for a minimum of 10 minutes during the exercise bouts based on the formula by Péronnet and Massicotte (1991):

$$\text{Energy expenditure (kJ)} = \text{oxygen consumption (L}\cdot\text{min}^{-1}) \times \text{exercise duration (min)} \times \text{energy equivalent of oxygen (kJ}\cdot\text{L}^{-1}).$$

Statistics

Paired T-tests were performed to document differences between the two experimental conditions. The values presented are means \pm standard deviations. The analyses were performed in SPSS ® version 20 for Mac (IBM corporation, Armonk, NY).

Results

The subjects were 17.7 ± 1.6 years old, had a mean BMI of $23.1 \pm 3.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, a mean body fat composition of $15.6 \pm 5.4\%$ and a mean waist circumference of $78.5 \pm 7.3 \text{ cm}$ ($n=11$ for waist circumference). The maximum oxygen uptake was $49.0 \pm 5.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, and an exercise effort at 70% of their individual maximum oxygen uptake corresponded to $34.3 \pm 3.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ and a speed of $9.6 \pm 1.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Exercise in both conditions led to similar energy expenditure (1644 vs. 1657 kJ; $p=0.836$).

Energy and macronutrient intakes

There was a significant difference in EI at lunch between the two experimental conditions (Figure 1). In fact, the subjects ate 646 kJ less when the exercise immediately preceded lunch compared with when there was a pause between exercise and lunch. It is notable that there was no significant EI compensation with the snack and dinner when the Ex condition was compared with the Ex_{pause} condition.

The macronutrient analysis showed that lipid intake was significantly lower at lunch for the Ex condition compared with the Ex_{pause} condition (Figure 2). Total lipid intake for the entire Ex condition (lunch, snack and dinner) tended to be lower than for the Ex_{pause} condition: 791 kJ vs. 753 kJ, respectively ($p=0.07$). Total carbohydrate and protein intakes were not different between the two conditions.

Visual analogue scales and satiety quotient

Of the 52 VAS completed per visit, only two were significantly different. First, the rating of fullness was greater upon arrival for the Ex_{pause} compared with the Ex (65 vs. 54 mm, respectively; $p=0.036$). Second, the rating for visual appeal after lunch was greater for the Ex condition than the Ex_{pause} condition (27 vs. 14 mm, respectively; $p=0.033$), meaning that the visual appeal of lunch was better in the Ex_{pause} condition, given that the scale is reverse-scored. As shown in Figure 3, there were no significant differences in the hunger ratings at any time, despite lower EI at lunch in the Ex condition. No significant differences were observed between the conditions in the other VASs at any time of the day (data not presented).

Patterns in food properties were observed. For example, the responses to the VAS “Would you like to eat something sweet?” showed that the subjects tended to be more likely to eat something sweet at dinner in the Ex condition than in the Ex_{pause} condition (40 vs. 55 mm; $p=0.088$, respectively). The subjects were also more likely to want something savory for lunch in the Ex_{pause} condition than in the Ex condition (27 mm vs. 36 mm; $p=0.064$, respectively),

and they also tended to like the smell of lunch more in the Ex_{pause} condition than in the Ex condition (31 mm vs. 23 mm; $p=0.087$, respectively).

With regard to the individuals' satiation efficiency, the only SQ that was significantly different was the SQ for hunger at snack time, which was higher in the Ex condition than in the Ex_{pause} condition ($p=0.019$; Table 2).

Discussion

Strategies to control body weight are constantly evolving. The core of weight control is the energy balance influenced directly by the EI and the EE. However, exercise can also play an indirect role on energy balance via EI. To our knowledge, this study is the first which addressed directly whether EI is reduced when exercise immediately precedes the meal compared to a condition in which there is a pause between exercise and the meal. Our results indicate that the timing of exercise is important: exercising just before a meal is better than exercising after a two hours delay to reduce EI without compensating for EI during the rest of the day. Interestingly, the decrease in EI seemed to operate through a reduction in lipid intake. Our results confirm that this phenomenon, exercise-induced anorexia, is short-lived and happens independently of changes in appetite sensations.

In 1994, King et al. raised the idea that an anorexigenic effect explains the suppression of hunger by exercise. The suppression was reportedly short-lived because hunger tended to

return to control levels within minutes following the exercise bout (Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; King et al., 1994; King, Miyashita et al, 2010; King, Wasse et al. 2010). Although various studies used VASs to explain the anorexigenic effect (Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; King et al., 1994), the present study suggests that VASs are not necessarily the best way to predict EI. In fact, AS did not change from one condition to the other, suggesting that the timing of exercise had no impact. However, there was a significant and non-negligible difference of 11% (646 kJ) in the EI at lunch when exercise immediately preceded the meal. The actual measurement of *ad libitum* energy intake is clearly a strength of this study that leads to better understanding of the key components of energy balance. This result is in line with other studies in this field that favor EI calculations for analyzing energy balance, given that AS does not always predict EI (Deighton et al., 2012; Imbeault et al., 1997; Pomerleau et al., 2004; Thivel et al., 2011).

As suggested by King et al. (2009), in some cases, exercise may increase the overall drive to eat but also increase the efficiency of satiating mechanisms after a fixed meal, indicating increasing sensitivity to appetite control. In the context of this study, which investigated two timing possibilities for exercise, no differences in appetite sensations and the satiating efficiency of lunch and dinner were noted. This could be explained by the fact that, in opposition to other studies where exercise was compared to a rest condition or performed chronically (Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; King et al., 2009), our study used acute exercise and modalities that were the same for both conditions (intensity, duration, ergometer and energy expenditure). Also, the particularities of the participants, such as their body weight status, deserve attention. King et al. (2009) studied overweight and obese men and women

with relatively low aerobic capacity while the current study was performed with normal weight boys with higher aerobic capacity. It is known that the change in energy intake in response to exercise differs according to individuals' body weight status (Kissileff et al. 1990) and the influence of fitness level is unknown.

In the current study, the only significant difference in the SQ, a marker of satiety efficiency, was observed for the snack. Our results indicate that each 100 kJ of snack food did not restrain hunger in the Ex condition more than in the Ex_{pause} condition, indicating that satiety efficiency at snack time was higher when exercise immediately preceded lunch. There was no difference in the EI at dinner between the conditions. In addition, other SQ tended to differ for the snack: desire to eat, amount of food they can eat and like to eat something savory. It could be reasonable to question the importance of the snack for factors such as the absence of compensation at dinner. On the one hand, it has been shown that snacks failed to delay dinner, did not lower hunger ratings and did not reduce energy intake at dinner (Marmonier et al. 1999). On one hand, a review by Drummond et al. (1996) reveals evidence that snacking may not predispose individuals to overweight and that this eating behavior might have positive advantages in terms of body weight control. Snacks might deserve further attention in future studies to confirm whether compensation occurs at dinner in the absence of a snack in the afternoon.

The *ad libitum* buffet-type meal with 38 items and the VASs revealed important information about macronutrient selection that is not available when meals such as milk shakes are used. In

the context of this study, the participants tended to have a greater desire to eat something sweet when dinner was immediately preceded by exercise. While this meal was significantly less caloric, energy from carbohydrates and proteins remained stable, whereas energy from lipids were reduced by an equivalent of 13 g. This study supports the results revealed by Bryant et al. (2006), who observed an increased preference for low-fat foods following exercise and supports the idea that exercise is a novel strategy for reducing fat intake after exercise.

Energy intake was measured in the current study with an *ad libitum* buffet. In a recent review, Farah et al. (2012) noted that most of the studies measuring EI used the *ad libitum* buffet concept, although this type of meal does not represent real-life conditions. According to these authors, the buffet is served in a laboratory, which is not a usual place for anyone to eat their meals on a daily basis. In addition, in real life, the individual has a brief period of cognitive activity to make food choices. These limits were tested by McNeil et al. (2012), who compared the EI and macronutrient intake in two different environments: in the laboratory and outside of the laboratory (real-life condition). They showed that there were no differences in energy intake and macronutrient intake between the two conditions (McNeil et al., 2012). This finding suggests that the results obtained in the current study might be replicated in real-life settings.

Modalities of exercise are important in this area of research. The exercise bout prescribed in this study was vigorous in intensity. In fact, it has been documented that the intensity of

training affects the anorexigenic effect (King et al., 1994; Kissileff et al., 1990). Some studies in this field of research have examined moderate (George & Marganstein, 2003; King, Wasse et al., 2010; Tsofliou et al., 2003) or vigorous physical activity (Becker et al., 2012; Broom et al., 2007; Broom et al., 2009), or compared the impact of different exercise intensities on appetite and EI (Imbeault et al., 1997; King et al., 1994; Kissileff et al., 1990; Pomerleau et al., 2004). The results were not always consistent between studies: some have shown an anorexigenic effect (King et al., 1994; Kissileff et al., 1990; Tsofliou et al., 2003) and others have reported no such effect (Imbeault et al., 1997; Pomerleau et al., 2004). The discrepancy in the results can be explained by the exercise intensity and duration (Thivel et al., 2013; King et al., 1994). For example, while both modalities led to a significant reduction in appetite sensations, a longer duration (52 min at 77% VO₂max) of high-intensity exercise had a greater effect on appetite sensation than a shorter period of exercise at similar intensity (26 min at 74% VO₂max). Given that the current study determined the optimal timing of a vigorous exercise bout to optimize the anorexigenic effect, it is now important to consider other features of the exercise, such as the intensity, duration and timing. It is notable that the optimal timing of an exercise bout to maximize the anorexigenic effect may differ based on exercise intensity and the duration of the exercise performed. More studies are needed to address this issue.

Considering that the lack of time is a common barrier to PA among the population, this study has important clinical implications. The results presented here suggest modifications to the PA recommendations that could produce better outcomes with the time invested. In addition to identifying at least 30 minutes of available time three times per week for physical activity, adding physical activity to the daily routine [e.g., walking to work and selecting activities that

require a minimal time burden such as walking and jogging (CDC, 2011)], our results indicate that positioning physical activity at the right time is important for deriving the greatest benefits for body-weight control. On the basis of our results, it can be estimated that positioning five 30-minute training sessions [to reach the current guidelines of 150 minutes per week (WHO, 2010)] just before meals could lead to an theoretical extra energy deficit of 167,960 kJ per year and thus about five kilograms of body weight lost. In the long term, exercise may even have a dual impact on appetite control. Accordingly, a 12-week exercise program can increase fasting and daily hunger but increase immediate and delayed satiety quotients, indicating greater satiety efficiency (King et al., 2009). However, the current study addressed only the short-term effects of exercise positioning, and long-term intervention studies are needed to assess the impact of such an intervention on body weight control. In addition, the present study was limited to a sample of healthy young men exercising at a high intensity for 30 minutes. As discussed previously, there are other exercise-related factors to consider (intensity, duration and thermic condition) in addition to the sex and body weight status of the individuals, which can influence the anorexigenic response to physical activity. For example, EI for the same exercise (running at 65% of VO_{2max}) was lower at a temperature of 10°C while the EI was higher at 30°C and this, compared to exercising at 20°C (Wasse et al., 2013).

Conclusion

The present study indicates that there is an optimal time to schedule physical activity to maximize the anorexigenic effect and that individuals eat less and feel as satisfied when exercise immediately precedes a meal. The reduction in EI is obtained via a reduction in lipid

intake. Further studies are needed to determine the optimal timing of physical activity for other populations over a longer period of time and in real-life conditions.

Acknowledgments

We thank all the participants who took part in this study. We also thank research assistants, J. Papineau and A. Portelance. The authors' responsibilities were as follows – MHA: designed and conducted research, analyzed data and performed statistical analysis, and wrote paper; VD: designed research and wrote paper; MEM: designed research, analyzed data and performed statistical analysis, wrote paper, and had primary responsibility for final content. None of the authors reported any potential conflicts of interest.

References

Arvaniti K, Richard D, Tremblay A. Reproducibility of energy and macronutrient intake and related substrate oxidation rates in a buffet-type meal. *Br J Nutr* 2000;83(5):489-95.

Becker GF, Macedo RC, Cunha Gdos S, Martins JB, Laitano O, Reischak-Oliveira A. Combined effects of aerobic exercise and high-carbohydrate meal on plasma acylated ghrelin and levels of hunger. *Appl Physiol Nutr Metab* 2012;37:184-92.

Blundell JE, Stubbs RJ, Hughes DA, Whybrow S, King NA. Cross talk between physical activity and appetite control : does physical activity stimulate appetite? *Proc Nutr Soc* 2003;62:651-61.

Broom DR, Batterham RL, King JA, Stensel DJ. Influence of resistance and aerobic exercise on hunger, circulating levels of acylated ghrelin, and peptide YY in healthy males. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2009;296:R29-R35.

Broom DR, Stensel DJ, Bishop NC, Burns SF, Miyashita M. Exercise-induced suppression of acylated ghrelin in humans. *J Appl Physiol* 2007;102:2165-71.

Bryant E, Finlayson G, King N, Blundell J. The influence of acute exercise on liking and preferences for food on high trait disinhibition women. *Obes Rev.* 2006;17:343.

CDC: Centers for Disease Control and Prevention. Overcoming Barriers to Physical Activity. Version current 16 February 2011. Internet:
<http://www.cdc.gov/physicalactivity/everyone/getactive/barriers.html> (accessed 12 July 2013)

Canadian Society for Exercise Physiology. Questionnaire d'aptitude à l'activité physique – Q-AAP et vous 2002. Version current 2002. Internet: <http://www.csep.ca/CMFiles/publications/parq/Q-AAP.pdf> (accessed 15 may 2012).

Deighton K, Zahra JC, Stensel DJ. Appetite, energy intake and resting metabolic responses to 60 min treadmill running performed in a fasted versus a postprandial state. *2012;58:946-54.*

Drapeau V, Blundell J, Therrien F, Lawton C, Richard D, Tremblay A. Appetite sensations as a marker of overall intake. *Br J Nutr 2005;93:273-80.*

Drummond S, Crombie N, Kirk T. A critique of the effects of snacking on body weight status. *Eur J Clin Nutr. 1996;50:779-83.*

Farah NMF, Brunstrom JM, Gill JMR. Using a novel computer-based approach to assess the acute effects of exercise on appetite-related measures. *Appetite 2012;58:196-204.*

Flint A, Raben A, Blundell JE, Astrup A. Reproducibility, power and validity of visual analogue scales in assessment of appetite sensations in single test meal studies. *Int J Obes Relat Metab Disord 2000;24(1):38-48.*

George VA, Morganstein A. Effect of moderate intensity exercise on acute energy intake in normal and overweight females. *Appetite 2003;40:43-46.*

Groupe de travail provincial sur la problématique du poids (GTPPP). Les problèmes reliés au poids au Québec: un appel à la mobilisation. Montréal, QC: ASPQ, 2011.

Katzmarzyk PT, Janssen I, Morrison KM, Tremblay MS. Classification of overweight and obesity in children and adolescents : 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. *Can Med Assoc J* 2007;176(Suppl 8):27-32.

King NA, Burley VJ, Blundell JE. Exercise-induced suppression of appetite : effects on food intake and implications for energy balance. *Eur J Clin Nutr* 1994;48:715-24.

King NA, Caudwell PP, Hopkins M, Stubbs JR, Naslund E, Blundell JE. Dual-process action of exercise on appetite control: increase in orexigenic drive but improvement in meal-induced satiety. *Am J Clin Nutr* 2009;90(4):921-7.

King JA, Miyashita M, Wasse LK, Stensel DJ. Influenced of prolonged treadmill running on appetite, energy intake and circulating concentrations of acylated ghrelin. *Appetite* 2010;54:492-98.

King JA, Wasse LK, Broom DR, Stensel DJ. Influence of brisk walking on appetite, energy intake, and plasma acylated ghrelin. *Med Sci Sports Exerc* 2010;53:492-8.

Kojima M, Hosoda H, Date Y, Nakazato M, Matsuo H, Kangawa K. Ghrelin is a growth-hormone-releasing acylated peptide from stomach. *Nature* 1999;402:656-60.

Kuczmarski RJ, Ogden CL, Guo SS, et al. 2000 CDC growth charts for the United States: Methods and development. National Center for Health Statistics. *Vital Health Stat.* 2002;11(246):1-203.

Hagobian TA, Sharoff CG, Stephens BR, Wade GN, Silva JE, Chipkin SR, Braun B. Effects of exercise on energy-regulating hormones and appetite in men and women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2009;296:R233-R42.

Hill AJ, Blundell JE. The effects of a high-protein or high-carbohydrate meal on subjective motivation to eat and food preferences. *Nutr Behav*. 1986;3:133-44.

Imbeault P, Saint-Pierre S, Alm eras N, Tremblay A. Acute effects of exercise on energy intake and feeling behaviour. *Br J Nutr*. 1997;77:511-21.

Kissileff HR, Pi-Sunyer FX, Segal K, Meltzer S, Foelsch PA. Acute effects of exercise on food intake in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr* 1990;52:240-5.

Lean MEJ, Han TS, Morrison CE. Waist circumference as a measure for indicating need for weight management. *Br Med J*. 1995;311(6998):158-61.

L eger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*. 1988; 6(2):93–101.

Marmonier C, Chapelot D, Louis-Sylvestre J. Metabolic and behavioral consequences of a snack consumed in a satiety state. *Am J Clin Nutr*. 1999;70:854-66.

McCarthy HD, Jarrett KV, Crawley HF. The development of waist circumference percentiles in British children aged 5.0 – 16.9 y. *Eur J Clin Nutr*. 2001;55:902-7.

McNeil J, Riou ME, Razmjou S, Cadieux S, Doucet E. Reproducibility of a food menu to measure energy and macronutrient intake in a laboratory and under real-life conditions. *Br J Nutr* 2012;108(7):1316-24.

WHO. Global recommendations on physical activity for health. Version current 2010. Internet: http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979_eng.pdf (accessed 15 July 2013).

Oscari LB. The Role of Exercise in Weight Control. *Exerc Sport Sci Rev* 1973;1:103-23.

Paridon SM, Alpert BS, Boas SR, Cabrera ME, Caldarera LL, Daniels SR, Kimball TR, Knilans TK, Nixon PA, Rhodes J, Yetman AT; American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. Clinical stress testing in pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation* 2006;113(15):1905-20.

Péronnet F, Massicotte D. Table of Nonprotein Respiratory Quotient: An Update. *Can J Sport Sci* 1991;16(1):23-9.

Pomerleau M, Imbeault P, Parker T, Doucet E. Effects of exercise intensity on food intake and appetite in women. *Am J Clin Nutr* 2004;80:1230-36.

Thivel D, Isacco L, Taillardat M, Rousset S, Boirie Y, Morio B, Duché P. Gender effect on exercise-induced energy intake modification among obese adolescents. *Appetite* 2011;56:658-61.

Thivel D, Aucouturier J, Doucet E, Saunders TJ, Chaput JP. Daily energy balance in children and adolescents. Does energy expenditure predict subsequent energy intake? *Appetite* 2013;60:58-64.

Tsofliou F, Pitsiladis YP, Malkova D, Wallace AM, Lean MEJ. Moderate physical activity permits acute coupling between serum leptin and appetite-satiety measures in obese women. *Int J Obes*. 2003;27:1332-9.

Wasse LK, King JA, Stensel DJ, Sunderland C. Effect of ambient temperature during acute aerobic exercise on short-term appetite, energy intake, and plasma acylated ghrelin in recreationally active males. *Appl Physiol Nutr Metab* 2013;38(8):905-9.

Wilmore JH. Appetite and Body Composition Consequent to Physical Activity. *Res Q Exerc Sport* 1983;54(4):415-25.

Wren AM, Seal LJ, Cohen MA, Brynes AE, Frost GS, Murphy KG, Dhillon WS, Ghatei MA, Bloom SR. Ghrelin Enhances Appetite and Increases Food Intake In Humans. *J Clin Endocrinol Metab* 2001;86(12):5992-95.

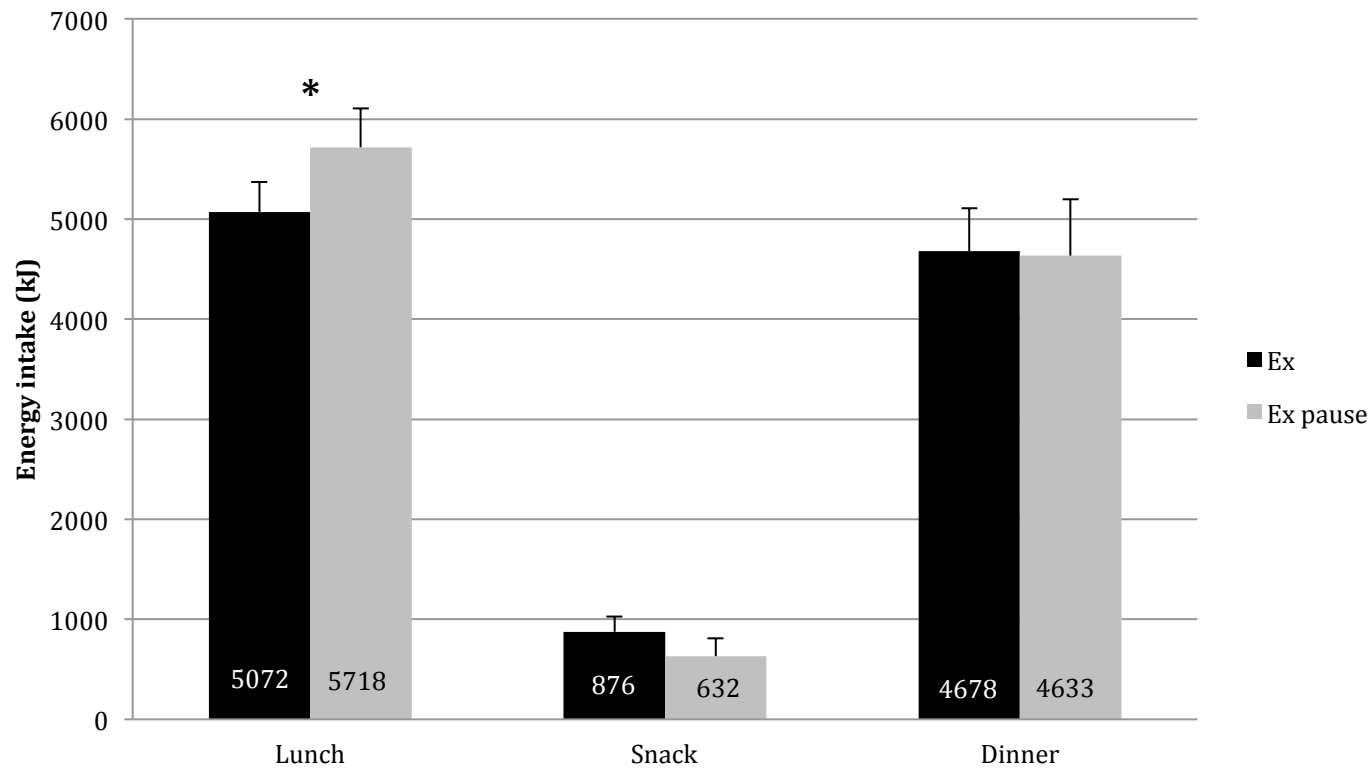


Figure 1: Energy intake when exercise immediately precedes lunch (Ex) and when a delay occurs between exercise and lunch (Ex_{pause}). Values presented are mean ± standard error; * : significant difference between Ex and Ex_{pause} condition (p<0.05).

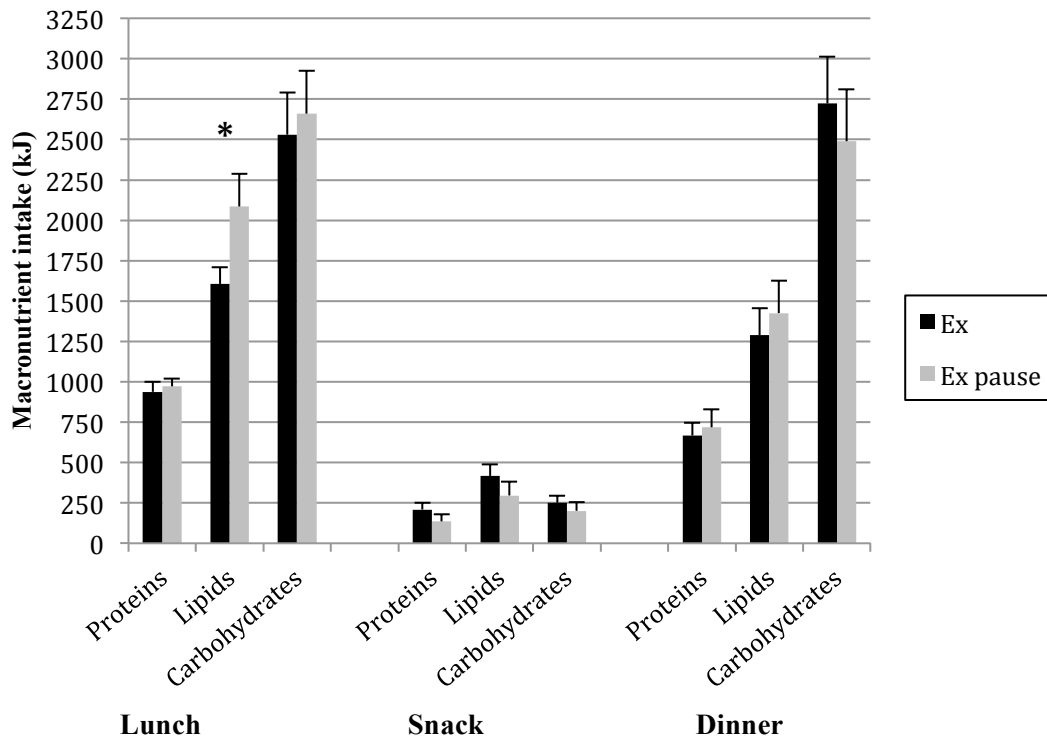


Figure 2: Macronutrient consumption when exercise immediately precedes lunch (Ex) and when a delay occurs between exercise and lunch (Ex_{pause}). Values presented are mean ± standard error; *: significant difference between Ex and Ex_{pause} condition (p<0.05).

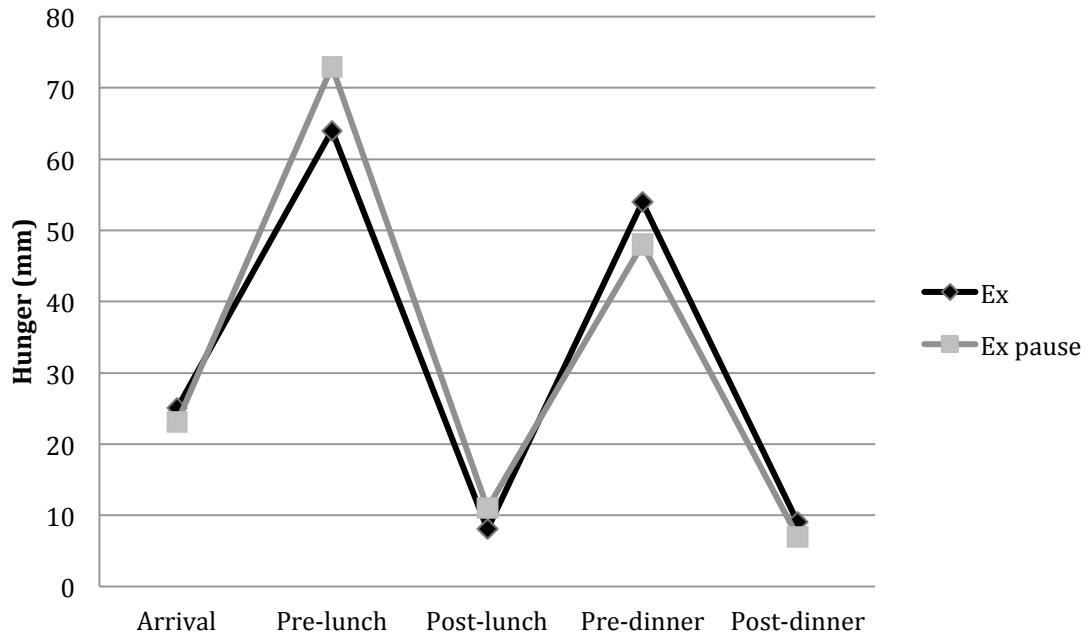


Figure 3: Hunger ratings at five time-points during conditions with or without a pause between exercise and lunch. Ex: Exercise immediately preceding lunch; Ex_{pause}: Exercise followed by a pause before lunch

Table 1: Experimental visits schedule

Time	Ex visit	Ex _{pause} visit
7:00 AM	Standard breakfast (home) – 30 min	
8:45 AM	Arrival at the laboratory	
9:00 AM	Pause – 30 min	Exercise – 30 min
9:30 AM	Pause – 1h45	Pause – 1h45
11:15 AM	Exercise – 30 min	Pause – 30 min
12:00 PM	Lunch buffet style – 30 min	
12:30 PM	Pause – 4h30	
5:00 PM	Dinner buffet style – 30 min	
5:45 PM	Departure of subjects	

Ex: Exercise preceding immediately lunch; Ex_{pause}: Exercise followed by a pause before lunch

Table 2: Hunger satiety quotient for the Exercise and the Exercise_{pause} visits

	Ex _{pause}	Ex	<i>p</i> values
Hunger satiety quotient (mm/100kJ)			
Lunch	1.14 (0.45)	1.12 (0.46)	0.886
Snack	-2.27 (2.80)	-4.37 (2.70)	0.019
Dinner	0.91 (0.47)	0.93 (0.78)	0.918

Ex: Exercise immediately preceding lunch; Ex_{pause}: Exercise followed by a pause before lunch

Discussion

Sachant que la prévalence de l'obésité ne cesse d'augmenter avec le temps, les chercheurs essayent de trouver les meilleurs moyens afin d'arrêter cette croissance. L'obésité résulte en majeure partie d'une balance énergétique positive, représentant une faille dans l'équilibre entre la DE et l'ingestion calorique. Donc, pour réduire la prévalence de l'obésité, il doit y avoir une augmentation de la DE, une diminution de l'IC total ou les deux (Bray et Popkin, 1998). Alors que la pratique de l'AP est, de nos jours, de moins en moins présente naturellement dans la vie des individus, plusieurs organisations ont émis des recommandations sur le niveau d'AP minimal qu'un individu devrait pratiquer pour avoir des bénéfices sur sa santé (Tableau IV). Chaque organisation a sa façon de présenter ses lignes directrices, mais il est intéressant de noter qu'au-delà des préoccupations spécifiques de chaque organisation à l'égard de l'intensité, de la modalité, de la durée minimale d'un bloc d'activité, ils suggèrent tous une pratique minimale de 150 minutes d'AP d'intensité moyenne à élevée par semaine. À ce jour, aucune de ces recommandations ne mentionne le positionnement de l'AP. Dans notre étude, cette modalité d'entraînement s'est avérée bénéfique pour diminuer l'IC suite à une séance d'exercice à intensité élevée. Bien que d'autres études seront nécessaires pour documenter l'effet à moyen/long terme ainsi que l'efficacité auprès de clientèles d'intérêt comme les personnes avec surcharge pondérale, cette spécification pourrait apporter un avantage afin de faciliter une balance énergétique plus négative et ainsi potentiellement faciliter la perte ou le maintien de la masse corporelle.

Tableau IV : Recommandations d'activité physique pour les adultes par différentes organisations.

<p>Directives canadiennes en matière d'activité physique (Prud'homme et al., 2007; SCPE, 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 150 min/semaine d'AP aérobie d'intensité moyenne à élevée (fait par tranche de ≥ 10 min) - Pour des bénéfices de santé additionnels, ajouter des activités de musculation 2x/semaine - 30 min/jour d'AP d'intensité moyenne et augmenter à 60 min presque tous les jours + exercice d'endurance musculaire pour un programme de perte de poids.
<p>Organisation mondiale de la Santé (WHO, 2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 150 min/semaine d'AP d'intensité moyenne ou 75 min/semaine d'AP d'intensité élevée (fait par tranche de ≥ 10 min) - Pour des bénéfices de santé additionnels : 300 min/semaine à intensité moyenne ou 150 min/semaine à intensité élevée.
<p>American College of Sports Medicine (Donnelly et al., 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 150 à 250 min/semaine d'AP d'intensité moyenne pour prévenir un gain de poids et peut apporter une perte de poids modeste. - > 250 min/semaine d'AP pour une perte de poids ainsi que prévenir le regain de poids.

Rappel des résultats

Le but de cette étude était de vérifier le positionnement optimal de l'AP pour bénéficier de l'effet anorexigène. Il s'est avéré que cet effet, qui est causé par des mécanismes partiellement identifiés dans la littérature scientifique et qui est sous l'influence de paramètres spécifiques de l'activité (ex. : intensité), est transitoire. En effet, nos résultats démontrent que de courir 30 minutes à intensité élevée immédiatement avant le dîner (~15 minutes) diminue l'IC lors du

repas chez les jeunes hommes non obèses, et ce, comparativement à un exercice réalisé 135 minutes avant le dîner. Cet effet est observé sans diminution de la sensation d'appétit. De plus, l'ingestion des lipides est moins élevée et c'est cette diminution qui est à l'origine de la diminution de l'IC. Comme il est important de considérer non pas un seul, mais plusieurs repas dans un contexte d'équilibre énergétique, il est important de noter qu'il n'y a eu aucune compensation significative lors des autres repas de cette journée (collation et souper). Une légère augmentation de l'IC est toutefois à noter après le repas du midi moins calorique qui suit l'AP effectuée immédiatement avant le repas supportant que l'effet est à court terme. Ceci dit, le repas suivant immédiatement l'AP serait donc le seul où l'effet anorexigène serait observé.

Composition de la diète

Outre l'IC, il est intéressant de regarder s'il y a une préférence de certains macronutriments suite à l'exercice et à son positionnement. Notre étude démontre une diminution d'IC de 646 kJ suite à l'exercice et cette diminution est causée par une diminution d'ingestion de lipides de 481 kJ. Ce n'est pas la première fois qu'une diminution de l'ingestion de lipides suite à l'exercice a été documentée. Westerterp-Plantenga et al. (1997) ont trouvé des résultats semblables à la présente étude. Par rapport à une situation de repos, l'IC avait diminué suite à une séance d'exercice sur vélo à intensité élevée de 800 kJ. Ils ont rapporté une diminution de pourcentage d'ingestion de lipides de 9% suite à l'exercice ainsi qu'une augmentation du pourcentage des glucides de 10%. Alors qu'on peut se demander si ce constat est dû potentiellement à une utilisation plus importante du glycogène lors de l'effort, le quotient

d'échanges respiratoires était fixé à 0,85 en période de récupération (Westerterp-Plantenga et al., 1997). Cette différence dans l'ingestion des substrats pourrait être due à une utilisation plus importante du glycogène lors de l'effort, une hypothèse qui reste à être vérifiée. L'ingestion de glucides a aussi augmenté suite à de l'exercice intense dans l'étude de Pomerleau et al. (2004), sans toutefois qu'un effet significatif sur les lipides et les protéines ne soit noté. Dans la présente étude, la dépense énergétique des deux séances était la même ($Ex=1644$ kJ vs $Ex_{\text{pause}}=1657$ kJ, $p > 0,05$) et donc, la contribution du glycogène est potentiellement équivalente (quotient d'échanges respiratoires : $Ex=1,01$ vs $Ex_{\text{pause}}=1,00$). La différence dans l'ingestion des macronutriments serait donc liée à d'autres facteurs qui restent à être établis.

Bray et Popkin (1998) mentionnent que l'ingestion de lipides joue un rôle clé dans le développement de l'obésité. Il est préoccupant de noter que l'ingestion quotidienne de ce macronutriment ainsi que des autres (glucides et protéines) n'a fait qu'augmenter depuis 1976 et a ainsi contribué à une IC totale plus élevée chez les Canadiens. De 1991 à 2002, l'IC a augmenté de 18%, ce qui est expliqué par l'augmentation des macronutriments. Cette augmentation était toutefois plus notable pour les lipides : glucides (+18%), protéines (+10%) et lipides (+22%; Statistics Canada, 2003). En moyenne, la diète d'un Canadien comprend 52% de glucides, 36% de lipides et 12% de protéines (Peng, 2004). Cependant, les recommandations quotidiennes de ces macronutriments sont de 45-65% pour les glucides, 25-35% pour les lipides et de 10-30% pour les protéines (Santé Canada, 2012). On peut donc remarquer que la consommation de lipides est élevée et qu'une réduction de l'ingestion des

lipides dans la diète pourrait faciliter l'objectif de diminution de prévalence d'obésité (Bray et Popkin, 1998).

Cette préférence aux macronutriments suite à l'exercice semble dépendre de facteurs tel le statut pondéral. En utilisant des activités de type jeux cardiovasculaires, natation/jeux aquatiques et entraînement de résistance, et ce, en comparaison avec une condition de repas, il a été révélé que des jeunes de poids normal consommaient moins de lipides lorsqu'actifs (Nemet et al., 2010). Le constat était par ailleurs moins concluant pour les jeunes en embonpoint car, ils ont une ingestion calorique semblable ou plus élevée suite à de l'exercice. Toutefois, les individus ayant un surplus de poids peuvent avoir tendance après un exercice cardiovasculaire à avoir une IC plus élevée en ayant une augmentation significative de l'ingestion protéique et une réduction significative de l'ingestion des glucides (Nemet et al., 2010). Le fait que l'IC des individus de poids normal tend à rester la même ou à diminuer suite à l'exercice est en lien avec notre étude où on note une diminution d'IC lorsque l'exercice était suivi immédiatement du repas. Un autre point en commun est que les lipides sont moins préférés lors du repas suivant l'exercice. À ce stade, il serait intéressant de regarder l'effet du post-exercice de l'IC et des préférences de macronutriments chez les personnes en embonpoint.

Collation

La prise de collation est un sujet qui suscite beaucoup d'attention dans la recherche sur l'équilibre énergétique (Chapelot, 2011; Forslund et al., 2005). La collation est souvent définie

comme n'importe quelle IC entre les repas, ce qui sous-tend la question « Qu'est-ce qu'un repas? ». Habituellement, les repas sont considérés comme étant le déjeuner, le dîner et le souper (Chapelot, 2011). Il est rapporté que les personnes obèses consomment plus souvent des collations, soit une de plus que les personnes non obèses (Forslund et al., 2005). Alors que cette augmentation de fréquence d'ingestion de collation et de contenu calorique plus élevée peuvent être associés à une plus grande IC (Forslund et al., 2005), une IC au repas est rapportée par certains comme plus basse et donc, indique une IC totale similaire entre les personnes obèses et non obèses (Yoon et Lee, 2010).

Certains auteurs mentionnent que la collation ne retarde pas le repas ni ne diminue la faim ou l'IC au repas qui suit (Marmonier et al., 1999). En d'autres mots, l'IC totale était plus élevée lorsqu'il y avait une collation comparativement à l'absence de celle-ci. Par contre, plusieurs études randomisées contrôlées, observationnelles ainsi qu'épidémiologiques n'ont pas indiqué d'association constante entre la prise de collation et l'obésité ou entre la collation et l'augmentation de l'IMC (Casazza et al., 2013; Chapelot, 2011). Ce serait donc un mythe que la prise de collations contribue à l'obésité (Casazza et al., 2013; Chapelot, 2011). En fait, la prise de collation diminuerait le risque d'embonpoint ainsi que réduire l'obésité abdominale (Keast et al., 2010). Une fréquence élevée d'IC (i.e., trois repas + deux collations) semble importante pour un maintenir une perte de masse corporelle (Bachman et al., 2011; Ma et al., 2003).

Fait intéressant à noter, il est suggéré qu'une fréquence élevée de repas est associée avec un haut niveau d'AP alors que les collations, possiblement de moindre qualité, le sont avec un mode plus sédentaire (Chapelot, 2011). Du point de vue physiologique, le faible effet rassasiant caractéristique des collations est préoccupant. Il est premièrement lié à une ingestion élevée en glucides, ce qui augmente la sécrétion d'insuline et réduit l'incorporation des acides gras libres dans les voies métaboliques (Chapelot, 2011). Malgré que cette satiété semble faible, les adolescents qui consomment des collations sont plus susceptibles de sauter un repas (Savigne et al., 2007). Les collations peuvent être de bonne qualité nutritionnelle comme ne pas l'être. Notre étude a utilisé une collation de bonne qualité nutritionnelle (carottes, fromage, craquelins et eau) entre le dîner et le souper. Elle était composée d'aliments communs et à volonté afin de ne pas restreindre l'IC. Donc, les participants avaient le choix d'en consommer ou non, selon leur faim. Les résultats ont révélé qu'il n'y avait pas de différence pour l'IC à la collation entre les deux visites (876 kJ vs 632 kJ), ni pour les glucides (24% vs 21%), les lipides (29% vs 32%) et les protéines (48% vs 47%), et ce, respectivement pour la condition où l'exercice précédait immédiatement le dîner (Ex) versus la condition où l'exercice était suivi d'une pause et ensuite du dîner (Ex_{pause}). Puisque l'ingestion au souper n'était pas différente entre les deux conditions, il est pertinent de se demander si la collation a joué un rôle sur l'IC lors du souper. Ceci pourrait sous-entendre qu'en incorporant une collation, celle-ci permettrait de contrôler la faim tout au long de la journée, et ce, malgré une ingestion calorique plus basse au dîner. Par contre, il serait intéressant de voir si l'absence de collation avec un même protocole ou une composition moins optimale de la collation augmenterait l'IC lors du souper et même apporterait une compensation pour la condition qui procure un effet anorexigène.

Transfert des connaissances

Le but ultime des études scientifiques est de transférer les résultats intéressants à la réalité afin qu'ils soient utilisés par ceux et celles qui peuvent en bénéficier. Ceci dit, notre étude est un bon exemple d'étude qui pourrait trouver écho dans les pratiques professionnelles. L'AP est un aspect de la vie courante qui peut faire office de loisir et qui peut être utilisée afin de contrer des problèmes de santé comme l'embonpoint. Les kinésiologues sont des professionnels de l'exercice qui peuvent jouer un rôle sur la gestion de l'obésité en entreprenant une évaluation de la condition physique pour ensuite fournir un encadrement à l'individu en augmentant leur niveau d'AP (Dent et al., 2007). De plus, inclure un professionnel de la santé spécialisé en nutrition permet d'incorporer une diète afin d'obtenir les résultats voulus (Dent et al., 2007). Il serait important pour les personnes désirant mieux contrôler leur poids de consulter ces deux professionnels de la santé. La majorité du temps, le professionnel a seulement le temps d'émettre des recommandations propres à son domaine d'expertise et de faire un survol sur l'autre aspect (Dent et al., 2007). Un travail de pair entre ces deux professionnels, mais aussi une introduction au concept du positionnement de l'AP permettrait potentiellement aux clients d'avoir un meilleur contrôle sur la balance énergétique.

Notre étude a utilisé la course en continu comme moyen d'entraînement pour augmenter l'effet anorexigène. Cette modalité simple et accessible permet à un vaste éventail de la population de pratiquer cette AP. Alors que par le passé la course était un moyen de survie et de déplacement, elle est devenue principalement un sport, un loisir et un moyen d'entraînement. Un avantage de la course et donc de son utilisation pour profiter de l'effet

anorexigène, est que l'équipement et le coût sont minimes. Pourtant, la course en continu n'est pas la seule modalité qui permet de bénéficier d'une suppression de l'appétit post-exercice. La course par intervalles, la natation et l'ergocycle sont tous des modalités ayant le même effet positif que la course (Deighton et al., 2012; King et al., 2011; Wasse et al., 2013). Ainsi, la course en continu, mais aussi les autres modalités mentionnées, permettent plus de choix répondant aux préférences des individus, et ce, dans le but de favoriser la pratique de l'AP et de bonifier l'effet anorexigène d'un plus grand nombre.

Il est important de retenir que notre étude, ainsi que celles réalisées avec d'autres modalités (Deighton et al., 2012; King et al., 2011; Wasse et al., 2013), étaient réalisées avec de l'exercice à intensité élevée. Tel que mentionné auparavant, l'intensité de l'exercice a un rôle à jouer sur l'effet anorexigène. Les intensités inférieures à 60 % du $VO_2\text{max}$ ont des résultats contradictoires quant à l'effet anorexigène (Imbeault et al., 1997; King et al., 1994; King et al., 2010b; Tsofliou et al., 2003). À ces intensités, la faim et l'IC sont souvent semblables ou augmentées comparativement à un niveau de contrôle représentant une condition sans exercice. Notre étude confirme que l'effet anorexigène fait surface suite à de l'exercice intense, du moins si l'AP précède le repas. Par contre, s'entraîner continuellement à intensité élevée n'est pas recommandé. Le corps a besoin de repos et de variété afin de progresser. Voilà une autre raison pour laquelle un kinésologue peut être nécessaire afin d'optimiser les résultats tout en mettant en pratique les principes d'entraînement chaque semaine. Il est possible de bénéficier de l'effet anorexigène en aussi peu que 30 minutes d'exercice intense.

Les résultats de la présente étude démontrent que l'exercice doit être fait immédiatement avant le repas si le but est de diminuer l'IC. Ainsi, l'effet anorexigène est transitoire. De façon concrète, des travailleurs pourraient avoir avantage à placer leur séance d'exercice intense au début de leur pause du diner pour ensuite bénéficier de l'effet anorexigène lors du repas. Concrètement, pour une pause d'environ une heure, l'individu peut faire de l'exercice intense pour une durée d'environ 30 minutes pour ensuite avoir encore le temps de diner. Bien que non officiellement documenté, il peut être observé que les individus vont plus souvent manger leur repas et ensuite prendre une marche. Cette même séquence se retrouve dans plusieurs écoles où le repas est servi et ensuite il y a une récréation. Il pourrait s'avérer intéressant d'inverser ces deux activités tant dans le monde professionnel que celui scolaire afin de favoriser un meilleur contrôle sur l'IC. Évidemment, le tout se devrait d'être vérifié.

On peut souvent parler d'appétit ou de faim comme façon d'exprimer ce que l'on veut manger. Ceci peut toutefois induire l'individu en erreur sur la quantité de nourriture qu'il pense pouvoir consommer. En effet, il est à noter que dans notre étude, il y avait une diminution d'IC suite à Ex vs Ex_{pause} malgré une sensation d'appétit/faim semblable ou plus élevée suivant l'exercice qu'au repos. Il est donc important pour les professionnels d'en tenir compte et d'informer leur client de ce phénomène. Seulement demander si l'appétit ou la faim a changé, ne donnera pas un reflet juste. De leur côté, les clients doivent être informés puisqu'ils pourront ainsi vérifier les portions et la composition du repas au lieu des sensations d'appétit.

Perspectives futures

Il serait intéressant, éventuellement, de regarder les concentrations plasmatiques d'hormones influençant l'appétit tel que la ghréline acylée, le peptide YY et l'ArGP. Ces dernières, ainsi que d'autres hormones, ont été étudiées dans le contexte de l'appétit et l'exercice. D'autres études sont nécessaires afin d'en savoir plus sur l'effet de l'exercice et de son positionnement sur celles-ci. Ces hormones sont modulées suite à l'exercice et reviennent à des niveaux semblables de repos suite à celui-ci (Broom et al., 2007; Broom et al., 2009; Carnier et al., 2013). Par contre, le temps pour revenir aux concentrations de repos n'est pas nécessairement clair, d'où une confusion qui demeure quant au positionnement précis de l'AP. Basé sur la présente étude, on peut supposer qu'il se situe quelque part entre 135 et 15 minutes après la fin de l'AP.

Puisque la majorité des études se sont basées sur des protocoles d'exercice aigu, il serait d'autant plus intéressant de regarder ces effets à plus long terme. L'effet anorexigène d'un positionnement optimal de l'AP à long terme pourrait ainsi permettre une meilleure planification et programmation d'entraînement pour les personnes pouvant en bénéficier telles que celles ayant un surplus pondéral. Il n'y a pas seulement les bienfaits sur la prévalence de l'obésité qui pourrait en faire objet, mais aussi un bien meilleur contrôle de la balance énergétique pour le maintien de la masse corporelle et de la perte de la masse corporelle. Carnier et al. (2013) rapportent des résultats non-concluants pour une première étude à long terme. Il reste donc du travail à faire sur ce point puisque la perte et le maintien du poids

corporel sont des objectifs à long terme. De plus, il serait intéressant de savoir quels sont les effets du positionnement de l'AP sur la balance énergétique à long terme.

Implication dans le projet

J'ai eu la chance d'apprendre tout au long du projet, en commençant par un accord sur le sujet de recherche jusqu'au dépôt de ce mémoire. Après avoir déterminé le sujet de recherche, j'ai appris comment faire une demande d'approbation de projet au comité d'éthique. Ensuite, j'ai commencé ma recension des écrits où j'ai pu plonger dans mon domaine progressivement. Lorsque l'approbation du comité d'éthique fut enfin obtenue, il était temps de s'attaquer au recrutement de mes futurs participants. J'ai communiqué avec les institutions scolaires de la région de l'Hôpital Sainte-Justine, dont l'Université de Montréal et le Collège Brébeuf, pour ensuite me déplacer et faire du recrutement sur place ou par les médias sociaux. J'ai remarqué que de connaître son projet lors du recrutement sur place était un atout puisque je pouvais faire ressortir les points pertinents selon la personne qui se trouvait devant moi. Avec les participants recrutés, je leur ai administré un test de capacité aérobie maximale par calorimétrie indirecte et les séances de course lors des séances d'expérimentation.

Pour ce qui est du buffet, j'ai réalisé que cela demande beaucoup de préparation afin que tout soit en place à la minute près. Les procédures d'hygiène ont été écrites afin de ne rien oublier. La vérification des aliments, soit leur quantité, la date de péremption et l'épicerie étaient des choses à ne pas oublier avant d'arriver au laboratoire la journée des visites avec participant. Il était important que tout soit organisé puisque le temps était une variable importante dans notre étude.

En somme, j'ai pu voir l'ampleur du travail demandé partant de la demande au comité d'éthique allant jusqu'à la rédaction de ce mémoire. L'organisation, le sens des responsabilités, l'autonomie, l'assiduité, la créativité et plus doivent être au rendez-vous. Je peux maintenant réaliser et apprécier tout le travail que cette maîtrise m'a demandé et de s'apercevoir de tous les apprentissages, les connaissances et les habiletés qu'on apprend et qu'on met en pratique.

Conclusion

Il est intéressant de réaliser que de pratiquer une AP n'apporte pas seulement une DE, mais vient aussi jouer un rôle sur l'IC. Ce mémoire a mis en lumière le lien optimal entre les deux côtés de la balance énergétique pour réduire l'IC a été étudié. Il a été possible d'observer qu'effectivement la pratique d'un exercice intense de type aérobie immédiatement avant un repas permettait d'augmenter de l'effet anorexigène par rapport à une pratique plus éloignée du repas. L'ingestion du diner était diminuée et cette diminution a été créée principalement par une diminution de l'ingestion de lipides lors de ce repas. Il n'y a pas eu de différence entre les sensations d'appétit entre les deux conditions. Ceci dit, il est important de mesurer l'IC pour étudier l'effet anorexigène. D'autres études sont nécessaires afin de voir le positionnement de l'AP pour bénéficier de l'effet anorexigène à long terme et chez une population différente (i.e., femmes et personnes en surpoids).

Références bibliographiques

- AMRF : l'American Medical and Research Foundation. Qu'est-ce qu'une épidémie? [En ligne]. Disponible : <http://www.amref.fr/nos-publications/fiches-sante/epemm> (consulté, 4 mai 2013).
- Armstrong BE. Heart Disease in Childhood : From Malformed Hearts to the Silent Impact of Unhealthy Lifestyles. *NCMJ*. 2012;73(6):490-93.
- Bachman JL, Phelan S, Wing RR, Raynor HA. Eating frequency is higher in weight loss maintainers and normal-weight individuals than in overweight individuals. *J Am Diet Assoc*. 2011;111(11):1730-4.
- Becker GF, Macedo RC, Cunha Gdos S, Martins JB, Laitano O, Reischak-Oliveira A. Combined effects of aerobic exercise and high-carbohydrate meal on plasma acylated ghrelin and levels of hunger. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37:184-92.
- Bergman RN, Kim SP, Catalano KJ, Hsu IR, Chiu JD, Kabir M, Hucking K, Ader M. Why Visceral Fat is Bad : Mechanisms of the Metabolic Syndrome. *Obesity*. 2006;14:16S-9S.
- Blundell JE, King NA. Physical activity and regulation of food intake: current evidence. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(Suppl 11):S573-83.
- Bouchard C. Childhood obesity: are genetic differences involved? *Am J Clin Nutr*. 2009;89(5):1494S-1501S.
- Bray GA, Popkin BM. Dietary fat intake does affect obesity! *Am J Clin Nutr*. 1998;68:1157-73.
- Broom DR, Batterham RL, King JA, Stensel DJ. Influence of resistance and aerobic exercise on hunger, circulating levels of acylated ghrelin, and peptide YY in healthy males. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2009;296:R29-R35.
- Broom DR, Stensel DJ, Bishop NC, Burns SF, Miyashita M. Exercise-induced suppression of acylated ghrelin in humans. *J Appl Physiol*. 2007;102:2165-71.
- Buffenstein R, Poppitt SD, McDevitt RM, Prentice AM. Food intake and the menstrual cycle: a retrospective analysis, with implications for appetite research. *Physiol Behav*. 1995;58(6) :1067-77.
- Burns SF, Broom DR, Mundy C, Miyashita M, Stensel DJ. A single session of treadmill running has no effect on plasma total ghrelin concentrations. *J Sports Sci*. 2007;25:635-42.

- Carnier J, Mello MT, Ackel-Délia C, Corgosinho FC, da Silveira Campos RM, de Lima Sanches P, Masquio DC, Bueno Júnior CR, Ganen AD, Martins AC, Caranti DA, Tock L, Clemente AP, Tufik S, Dâmaso AR. Aerobic training (AT) is more effective than aerobic plus resistance training (AT+RT) to improve anorexigenic/orexigenic factors in obese adolescents. *Appetite*. 2013;69C :168-173.
- Casazza K, Fontaine KR, Astrup A, Birch LL, Brown AW, Bohan Brown MM, Durant N, Dutton G, Foster EM, Heymsfield SB, McIver K, Mehta T, Menachemi N, Newby PK, Pate R, Rolls BJ, Sen B, Smith DL Jr, Thomas DM, Allison DB. Myths, presumptions, and facts about obesity. *N Engl J Med*. 2013;368(5):446-54.
- Chapelot D. The role of snacking in energy balance: a biobehavioral approach. *J Nutr*. 2011;141:158S-62S.
- Chaput J-P, Gilbert J-A, Gregersen NT, Pedersen SD, Sjödin AM. Comparaison of 150-mm versus 100-mm visual analogue scales in free living adult subjects. *Appetite*. 2010;54:583-6.
- Cummings DE. Ghrelin and the short- and long-term regulation of appetite and body weight. *Physiology & Behavior*. 2006;89:71-84.
- Daniels SR, Arnett DK, Eckel RH, Gidding SS, Hayman LL, Kumanyika S, Robinson TN, Scott BJ, St. Jeor S, Williams CL. Overweight in Children and Adolescents : Pathophysiology, Consequences, Prevention, and Treatment. *Circulation*. 2005;111:1999-2012.
- Deighton K, Zahra JC, Stensel DJ. Appetite, energy intake and resting metabolic responses to 60 min treadmill running performed in a fasted versus a postprandial state. *Appetite*. 2012;58:946-54.
- Dent R, Vallis M, Hramiak I, Francis JA. Role of the health care team in the evaluation and management of obesity: 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. *Can Med Assoc J* 2007;176(Suppl 8):Online-50-3.
- Després J-P, Lemieux I. Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature*. 2006;444:881-7.
- Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK. American College of Sports Medicine Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(2):459-71.

- Donnelly JE, Hill JO, Jacobsen DJ, Potteiger J, Sullivan DK, Johnson SL, Heelan K, Hise M, Fennessey PV, Sonko B, Sharp T, Jakicic JM, Blair SN, Tran ZV, Mayo M, Gibson C, Washburn RA. Effects of a 16-month randomized controlled exercise trial on body weight and composition in young, overweight men and women: the Midwest Exercise Trial. *Arch Intern Med.* 2003;163(11):1343-50.
- Donnelly JE, Jacobsen DJ, Heelan KS, Seip R, Smith S. The effects of 18 months of intermittent vs. continuous exercise on aerobic capacity, body weight and composition, and metabolic fitness in previously sedentary, moderately obese females. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2000;24(5):566-72.
- Donnelly JE, Smith BK. Is exercise effective for weight loss with ad libitum diet? Energy balance, compensation, and gender differences. *Exerc Sport Sci Rev.* 2005;33(4):169-74.
- Drapeau V, Blundell J, Therrien F, Lawton C, Richard D, Tremblay A. Appetite sensations as a marker of overall intake. *Br J Nutr.* 2005;93:273-80.
- Farah NMF, Brunstrom JM, Gill JMR. Using a novel computer-based approach to assess the acute effects of exercise on appetite-related measures. *Appetite.* 2012;58:196-204.
- Finucane MM, Stevens GA, Cowan MJ, Danaei G, Lin JK, Paciorek CJ, Singh GM, Gutierrez HR, Lu Y, Bahalim NA, Farzadfar F, Riley LM, Ezzati M. National, regional, and global trends in body-mass index since 1980 : systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 960 country-years and 9.1 million participants. *Lancet.* 2011;377(9765):557-67.
- Flint A, Raben A, Blundell JE, Astrup A. Reproducibility, power and validity of visual analogue scales in assessment of appetite sensations in single test meal studies. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2000;24(1):38-48.
- Forslund HB, Torgerson JS, Sjöström L, Lindroos AK. Snacking frequency in relation to energy intake and food choices in obese men and women compared to a reference population. *Int J Obes.* 2005;29:711-19.
- Freedman DS, Mei Z, Srinivasan SR, Berenson GS, Dietz WH. Cardiovascular risk factors and excess adiposity among overweight children and adolescents : the Bogalusa Heart Study. *J Pediatr.* 2007;150(1):12-7.e2.
- George VA, Morganstein A. Effect of moderate intensity exercise on acute energy intake in normal and overweight females. *Appetite.* 2003;40:43-46.

- Ghigo E, Broglio F, Arvat E, Maccario M, Papotti M, Muccioli G. Ghrelin: more than a natural GH secretagogue and/or an orexigenic factor. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2005;62(1):1-17.
- Gregersen NT, Møller BK, Raben A, Kristensen ST, Holm L, Flint A, Astrup A. Determinants of appetite ratings: the role of age, gender, BMI, physical activity, smoking habits, and diet/weight concern. *Food Nutr Res*. 2011;55.
- Groupe de travail provincial sur la problématique du poids (GTPPP). Les problèmes reliés au poids au Québec: un appel à la mobilisation. Montréal, QC: ASPQ, 2011.
- Hagobian TA, Braun B. Physical activity and hormonal regulation of appetite: sex differences and weight control. *Exerc Sport Sci Rev*. 2010;38(1):25-30.
- Hagobian TA, Sharoff CG, Stephens BR, Wade GN, Silva JE, Chipkin SR, Braun B. Effects of exercise on energy-regulating hormones and appetite in men and women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2009;296:R233-R42.
- Hagobian TA, Yamashiro M, Hinkel-Lipsker J, Streder K, Evero N, Hackney T. Effects of acute exercise on appetite hormones and ad libitum energy intake in men and women. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2013;38(1):66-72.
- Hickey MS, Houmard JA, Considine RV, Tyndall GL, Midgette JB, Gavigan KE, Weidner ML, McCammon MR, Israel RG, Caro JF. Gender-dependent effects of exercise training on serum leptin levels in humans. *Am J Physiol*. 1997;272(4 Pt 1):E562-6.
- Hill AJ, Blundell JE. The effects of a high-protein or high-carbohydrate meal on subjective motivation to eat and food preferences. *Nutr Behav*. 1986;3:133-44.
- Imbeault P, Saint-Pierre S, Alméras N, Tremblay A. Acute effects of exercise on energy intake and feeling behaviour. *Br J Nutr*. 1997;77:511-21.
- Janssen I, Ross R. Vigorous intensity physical activity is related to the metabolic syndrome independent of the physical activity dose. *Int J Epidemiol*. 2012;41(4):1132-40.
- Katzmarzyk PT, Janssen I. The economic costs associated with physical inactivity and obesity in Canada : an update. *Can J Appl Physiol*. 2004;29(1):90-115.
- Katzmarzyk PT, Janssen I, Morrison KM, Tremblay MS. Classification of overweight and obesity in children and adolescents: 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. *Can Med Assoc J* 2007;176(Suppl 8):Online-27-32.

- Keast DR, Nicklas TA, O'Neil CE. Snacking is associated with reduced risk of overweight and reduced abdominal obesity in adolescents: National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2004. *Am J Clin Nutr.* 2010;92:428-35.
- King NA, Burley VJ, Blundell JE. Exercise-induced suppression of appetite : Effects on food intake and implication for energy balance. *Eur J Clin Nutr.* 1994;48:715-24.
- King NA, Lluch A, Stubbs RJ, Blundell JE. High dose exercise does not increase hunger or energy intake in free living males. *Eur J Clin Nutr.* 1997;51(7):478-83.
- King JA, Miyashita M, Wasse LK, Stensel DJ. Influenced of prolonged treadmill running on appetite, energy intake and circulating concentrations of acylated ghrelin. *Appetite.* 2010a;54:492-98.
- King JA, Wasse LK, Broom DR, Stensel DJ. Influence of brisk walking on appetite, energy intake, and plasma acylated ghrelin. *Med Sci Sports Exerc.* 2010b;53:492-8.
- King JA, Wasse LK, Stensel DJ. Acute effects of swimming on appetite, food intake, and plasma acylated ghrelin. *J Obes.* 2011; pii:351628.
- King JA, Wasse LK, Stensel DJ, Nimmo MA. Exercise and ghrelin. A narrative overview of research. *Appetite.* 2013;68:83-91.
- Kino-Québec. L'activité physique et le poids corporel: Avis du comité scientifique de Kino-Québec. 2e édition, 2008. [En ligne]. Disponible: <http://www.kino-quebec.qc.ca/publications/AvisPoids%20CorporelMars2008.pdf> (consulté, 13 juillet 2013).
- Kissileff HR, Pi-Sunyer FX, Segal K, Meltzer S, Foelsch PA. Acute effects of exercise on food intake in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr.* 1990;52:240-5.
- Kojima M, Hosoda H, Date Y, Nakazato M, Matsuo H, Kangawa K. Ghrelin is a growth-hormone-releasing acylated peptide from stomach. *Nature.* 1999;402(6762) :656-60.
- Kuczmarski RJ, Ogden CL, Guo SS, et al. 2000 CDC growth charts for the United States: Methods and development. National Center for Health Statistics. *Vital Health Stat.* 2002;11(246):1-203.
- Laan DJ, Leidy HJ, Lim E, Campbell WW. Effects and reproducibility of aerobic and resistance exercise on appetite and energy intake in young, physically active adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2010;35(6):842-7.
- Lau DCW. Synopsis of the 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. *CMAJ.* 2007;176(8):1103-6.

- Lazzer S, Busti C, Agosti F, De Col A, Pozzo R, Sartorio A. Optimizing fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2007;67(4):582-8.
- Lean MEJ, Han TS, Morrison CE. Waist circumference as a measure for indicating need for weight management. *British Medical Journal*. 1995;311(6998):158-61.
- Ma Y, Bertone ER, Stanek EJ 3rd, Reed GW, Hebert JR, Cohen NL, Merriam PA, Ockene IS. Association between eating patterns and obesity in a free-living US adult population. *Am J Epidemiol*. 2003;158(1):85-92.
- Marmonier C, Chapelot D, Louis-Sylvestre J. Metabolic and behavioral consequences of a snack consumed in a satiety state. *Am J Clin Nutr*. 1999;70:854-66.
- Marzullo P, Salvadori A, Brunani A, Verti B, Walker GE, Fanari P, Tovaglieri I, De Medici C, Savia G, Liuzzi A. Acylated ghrelin decreases during acute exercise in the lean and obese state. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2008;69(6):970-1.
- Mayer J, Roy P, Mitra KP. Relation between caloric intake, body weight, and physical work: studies in an industrial male population in West Bengal. *Am J Clin Nutr*. 1956;4(2):169-75.
- McCarthy HD, Jarrett KV, Crawley HF. The development of waist circumference percentiles in British children aged 5.0 – 16.9 y. *Eur J Clin Nutr*. 2001;55:902-7.
- McNeil J, Riou ME, Razmjou S, Cadieux S, Doucet E. Reproducibility of a food menu to measure energy and macronutrient intake in a laboratory and under real-life conditions. *Br J Nutr*. 2012;108(7):1316-24.
- National Heart, Lung, and Blood Institute. What is Metabolic Syndrome? 2011. [En ligne]. Disponible : <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/ms/> (consulté, 22 mai 2013).
- National Institute of Health. Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults – the evidence report. National Institutes of Health. *Obes Res*. 1998;6:51S-209S.
- Nemet D, Arieli R, Meckel Y, Eliakim A. Immediate post-exercise energy intake and macronutrient preferences in normal weight and overweight pre-pubertal children. *Int J Pediatr Obes*. 2010;5:221-29.
- OMS. Recommandations mondiales en matière d'activité physique pour la santé. 2010. [En ligne]. Disponible : http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789242599978_fre.pdf (consulté, 15 juillet 2013).

- Peeters A, Barendregt JJ, Willekens F, Mackenbach JP, Mamun AA, Bonneux L. Obesity in Adulthood and Its Consequences for Life Expectancy : A Life-Table Analysis. *Ann Intern Med.* 2003;138(1):24-32.
- Penedo FJ, Dahn JR. Exercise and well-being: a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Curr Opin Psychiatry.* 2005;18(2):189-93.
- Peng Y. Canadian consumer trends in obesity and food consumption. 2004. [En ligne]. Disponible: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/sis8438/\\$file/obesityandnutrition.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/sis8438/$file/obesityandnutrition.pdf?OpenElement) (consulté, 20 juillet 2013).
- Pietrobelli A, Malavolti M, Battistini NC, Fuiano N. Metabolic syndrome : a child is not a small adult. *Int J Pediatr Obes.* 2008;3(s1):67-71.
- Pomerleau M, Imbeault P, Parker T, Doucet E. Effects of exercise intensity on food intake and appetite in women. *Am J Clin Nutr.* 2004;80:1230-36.
- Poston WS 2nd, Foreyt JP. Obesity is an environmental issue. *Atherosclerosis.* 1999;146(2):201-9.
- Prud'homme D, Doucet E, Dionne I, Ross R. Physical activity and exercise therapy – adults: 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. 2007;176(Suppl 8):Online-64-6.
- Santé Canada. Les adultes Canadiens comblent-ils leur besoins en nutriments uniquement grâce à l'alimentation? 2012. [En ligne]. Disponible: http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt_formats/pdf/surveill/nutrition/commun/art-nutr-adult-fra.pdf (consulté, 20 juillet 2013).
- Savidge G, Macfarlane A, Ball K, Worsley A, Crawford D. Snacking behaviours of adolescents and their association with skipping meals. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2007;4:36.
- Schmidt A, Maier C, Schaller G. Acute exercise has no effect on ghrelin plasma concentrations. *Horm Metab Res.* 2004;36:174-7.
- SCPE: Société canadienne de physiologie de l'exercice. Directives canadiennes en matière d'activité physique à l'intention des adultes ages de 18 à 64 ans. 2013. [En ligne]. Disponible: <http://www.csep.ca/Francais/view.asp?x=804> (consulté, 15 juillet 2013).
- Shields M. L'embonpoint et obésité chez les enfants et les adolescents. *Rapport sur la santé.* 2006;17(3):27-43.

- Shields M, Carroll MD, Ogden CL. Prévalence de l'obésité chez les adultes au Canada et aux États-Unis. NCHS Data Brief. 2011;56.
- Starky, S. L'épidémie d'obésité au Canada. Bibliothèque du Parlement du Canada. 2005. <http://www.parl.gc.ca/content/lop/researchpublications/prb0511-f.pdf>
- Statistics Canada. Food Statistics 2002. 2003;2(1&2). Catalogue no. 21-020-XIE.
- Thivel D, Aucouturier J, Doucet É, Saunders TJ, Chaput JP. Daily energy balance in children and adolescents. Does energy expenditure predict subsequent energy intake? *Appetite*. 2013;60(1):58-64.
- Thivel D, Isacco L, Taillardat M, Rousset S, Boirie Y, Morio B, Duché P. Gender effect on exercise-induced energy intake modification among obese adolescents. *Appetite*. 2011;56:658-61.
- Tremblay A, Pérusse L, Bouchard C. Energy balance and body-weight stability: impact of gene-environment interactions. *Br J Nutr*. 2004;92(Suppl 1):S63-6.
- Tsofliou F, Pitsiladis YP, Malkova D, Wallace AM, Lean MEJ. Moderate physical activity permits acute coupling between serum leptin and appetite-satiety measures in obese women. *Int J Obes*. 2003;27:1332-9.
- Wasse LK, Sunderland C, King JA, Miyashita M, Stensel DJ. The influence of vigorous running and cycling exercise on hunger perceptions and plasma acylated ghrelin concentrations in lean young men. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2013;38(1):1-6.
- Westerterp-Plantenga MS, Verwegen CRT, Ijedema MJW, Wijckmans NEG, Saris WHM. Acute effects of exercise or sauna on appetite in obese and nonobese men. *Physiology & Behavior*. 1997;62(6):1345-54.
- Whybrow S, Hughes DA, Ritz P, Johnstone AM, Horgan GW, King N, Blundell JE, Stubbs RJ. The effect of an incremental increase in exercise on appetite, eating behavior and energy balance in lean men and women feeding ad libitum. *Br J Nutr*. 2008;100:1109-15.
- Yoon JS, Lee NJ. Dietary patterns of obese high school girls: snack consumption and energy intake. *Nutr Res Pract*. 2010;4(5):433-7.

