

Université de Montréal

**L'activité physique : une stratégie pour contrebalancer l'effet hyperphagiant
du travail mental**

par
Valérie Lemay

Département de Kinésiologie
Faculté de l'Éducation

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

Août, 2012

© Valérie Lemay, 2012

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

L'activité physique : une stratégie pour contrebalancer l'effet hyperphagiant du travail mental

Présenté par :
Valérie Lemay

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Raynald Bergeron, président-rapporteur
Marie-Eve Mathieu, directrice de recherche
Daniel Curnier, membre du jury

Résumé

Introduction: Bien que la dépense énergétique associée au travail mental ne soit pas plus élevée qu'au repos, des travaux ont mené à la conclusion que la réalisation d'une tâche mentale stressante était reliée à une augmentation de la consommation énergétique. Il est suggéré que le travail mental stressant produise des effets physiologiques modulant l'apport alimentaire. Le but du projet était donc de déterminer, dans une population d'adolescents masculins, si l'introduction d'une période d'activité physique pourrait contrebalancer les effets négatifs du travail intellectuel dans le contrôle de l'ingestion et du bilan énergétiques.

Méthodes: Douze étudiants de sexe masculin, sans surplus de poids et âgés entre 14 et 20 ans, ont été évalués au CHU Sainte-Justine. Ils devaient prendre part à trois visites dans un ordre aléatoire: a) visite NO_{pause} = relaxation/travail mental/repas ; b) visite REL_{pause} = travail mental/relaxation/repas ; visite PA_{pause} = travail mental/activité physique/repas. L'effet de l'introduction d'une pause active sur l'ingestion et le bilan (kilojoules ingérés - kilojoules dépensés lors des différentes tâches) énergétiques a été étudié en comparant les visites par analyse par test-t pour échantillons appariés avec un seuil de significativité fixé à 0,05.

Résultats: L'introduction d'une pause passive entre le travail mental et le repas ne modifie en rien l'ingestion et le bilan énergétiques. L'introduction de la pause active n'augmente pas la consommation alimentaire, et ce, malgré une augmentation significative des sensations associées à l'appétit (envie de manger, faim, sensation d'être rempli et consommation anticipée d'aliments). Considérant la dépense énergétique inhérente à la pratique d'activité physique, un bilan énergétique significativement inférieur de plus de 1000 kJ a été mesuré pour la visite avec pause active par rapport à la visite sans pause.

Conclusion : Cette étude est la première à confirmer que de bouger entre un travail mental et un repas est une stratégie efficace pour contrer l'effet hyperphagiant du travail mental via son action sur la dépense énergétique augmentée et un maintien de l'ingestion calorique. Globalement, ces résultats pourraient aider au maintien et à l'amélioration d'un statut corporel sain dans un contexte où le travail mental est omniprésent.

Mots-clés : adolescents, équilibre énergétique, exercice, obésité, travail mental.

Abstract

Introduction: Although energy expenditure during knowledge-based work is not higher than energy expenditure at rest, recent literature suggests that a stressful mental task is related to an increase in energy intake. It is suggested that mental work produces physiological changes, thereby influencing energy intake. Because physical activity can influence hunger, the aim of the study was to determine if the introduction of an active pause could counteract the negative effects of mental work on food intake and energy balance in a population of adolescent males.

Method: Twelve male students of normal weight between 14 and 20 years old were evaluated at UHC Sainte-Justine. All subjects participated in three different sessions in a randomized order: a) NO_{pause} visit = relaxation/mental work/meal; b) REL_{pause} visit = mental work/relaxation/meal; and c) PA_{pause} visit = mental work/physical activity/meal. The effect of introducing an active pause on energy intake and energy balance (kilojoules eaten – kilojoules expended during the tasks) was studied by comparing visits with paired t-tests (level of significance: $p < 0.05$). The same analyses were performed to determine differences in appetite sensations.

Results: The introduction of an active pause did not influence energy intake, even though higher appetite-related sensations were observed. Taking into account energy expenditure related to physical activity, a lower energy balance was measured for the PA_{pause} visit compared to the NO_{pause} visit.

Conclusion: This study is the first to confirm that being active between mental work and a meal represents a good strategy to counteract the hyperphagic effect of knowledge-based work via mainly an increased energy expenditure and a maintenance of energy intake. Globally, these results could help individuals attain and/or maintain a healthy body weight in a context where knowledge-based work is omnipresent.

Keywords : adolescents, energy balance, exercise, knowledge-based work, obesity

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Liste des abréviations	vii
Remerciements	viii
Introduction	1
A) La problématique de l'obésité	2
Définition de l'obésité.....	2
L'obésité : mortalité et morbidité.....	3
B) Les déterminants de l'obésité	9
Balance énergétique.....	10
Les déterminants émergents de l'obésité	13
C) Le travail mental	14
Changements dans l'occupation principale	14
Ingestion calorique et travail mental.....	15
D) L'activité physique comme stratégie pour contrebalancer l'effet hyperphagiant du travail mental	20
Dépense énergétique occasionnée par l'activité physique.....	21
Apport énergétique suite à l'activité physique.....	22
E) Enjeux du projet	23
Physical activity to counteract the hyperphagic effect of knowledge-based work	24
Abstract	25
Introduction	26
Method	28
Sample	28

Procedures	29
Preliminary visit	29
Visits NO _{pause} , REL _{pause} and PA _{pause}	31
Calculation of energy balance	34
Statistics.....	34
Results	35
Differences observed between relaxation and KBW.....	35
Energy intake and balance	36
Visual analog scales	36
Profile of individuals (TFEQ and STAI-C)	37
Discussion	37
Acknowledgments	42
References	43
Tables and figures	47
Discussion	55
A) Justification du projet	66
B) Rappel des résultats.....	56
C) Applications cliniques	59
D) Limites	60
E) Avenues de recherche.....	61
F) Contribution personnelle au projet.....	63
G) Conclusion.....	64
Références bibliographiques.....	65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification du poids chez l'adulte selon l'IMC.2

Tableau 2 : Classification du percentile d'IMC chez l'enfant et l'adolescent.3

Liste des figures

Figure 1 : Complications associées à l'obésité.....	6
Figure 2 : Facteurs impliqués dans le développement de l'obésité.....	9
Figure 3 : Balance énergétique neutre	10
Figure 4 : Dépense énergétique lors de la tâche de repos et de travail mental et apport calorique lors du buffet suivant ces tâches.....	17
Figure 5: Différences dans l'apport énergétique entre la condition de stress et la condition contrôle en fonction de la différence de score d'anxiété aigu avant et après la tâche stressante...59	59

Liste des abréviations

BMI	Body mass index
BP	Blood pressure
CHU	Centre hospitalier universitaire
DBP	Diastolic blood pressure
EE	Energy expenditure
FC	Fréquence cardiaque
FC_{max}	Fréquence cardiaque maximale
HR	Heart rate
HR_{max}	Maximal heart rate
IMC	Indice de masse corporelle
KBW	Knowledge-based work
kJ	Kilojoule
NASA-TLX	NASA Task Load Index
OMS	Organisation mondiale de la santé
SBP	Systolic blood pressure
SCPE	Société canadienne de physiologie de l'exercice
STAI-C	State and Trait Anxiety Inventory for Children
TFEQ	Three Factor Eating Questionnaire
UHC	University Hospital Center
VAS	Visual analog scales
Visite NO_{pause}	Visite sans pause
Visite PA_{pause}	Visite avec pause active (activité physique)
Visite REL_{pause}	Visite avec pause passive (relaxation)
$\dot{V}O_2$ de pointe	Consommation d'oxygène de pointe
$\dot{V}O_{2max}$	Consommation maximale d'oxygène
$\dot{V}O_{2peak}$	Peak oxygen consumption

Remerciements

À ma directrice de recherche, Marie-Ève, merci pour ta disponibilité, ton support et ta compréhension.

Au département de kinésiologie, à la Faculté des études supérieures de l'Université de Montréal, à la Fondation du CHU Sainte-Justine et à la Fondation des étoiles, merci pour le soutien financier tout au long de mes études.

À Corinne et Pamela, merci pour votre aide dans le projet (recrutement de participants, mise en place du protocole et expérimentation).

À ma famille (Gilles, Christiane, Anouk, Juliane, Jacqueline, Martin), merci pour votre support, chacun à votre manière.

Introduction

Épidémie du siècle selon l'Organisation mondiale de la santé, l'obésité est devenue un problème de santé publique majeur. Maladie chronique touchant adultes et enfants, l'obésité constitue une menace dans les pays développés comme dans les pays en développement (1).

Mondialement, entre 1980 et 2008, la prévalence de l'obésité a presque doublé, se chiffrant à plus de 500 millions d'adultes obèses et 1,4 milliard en surpoids. En 2010, on estimait à plus de 42 millions le nombre d'enfants en surpoids à travers le monde (2). Au Canada, 42,8% des hommes âgés entre 20 et 69 ans seraient en surcharge pondérale et 27,6% seraient obèses. Chez les femmes, 23,7% seraient en surcharge pondérale et un même pourcentage seraient obèses (3). Toujours au Canada, environ un enfant sur quatre présente un problème de poids, dont 18% sont en surcharge pondérale et 8% sont obèses (4).

A) La problématique de l'obésité

Définition de l'obésité

Le surpoids et l'obésité se définissent comme « une accumulation anormale ou excessive de graisse qui peut nuire à la santé » (2). L'indice de masse corporelle (IMC) est souvent utilisé dans la classification du poids. L'IMC se calcule ainsi:

$$IMC = \frac{\text{masse (kg)}}{\text{taille (m)}^2}$$

Chez l'adulte, la classification du poids se fait de la façon suivante :

Tableau 1 : Classification du poids chez l'adulte selon l'IMC.

IMC (kg/m ²)	Classification	Risque de morbidité associé
<18,5	Insuffisance pondérale	Faible
18,5-24,9	Poids normal	Moyen
25-29,9	Surcharge pondérale	Accru
30-34,9	Obésité, classe I	Modéré
35-39,9	Obésité, classe II	Important
≥40	Obésité, classe III	Très important

Adapté de OMS (1)

Chez l'enfant et l'adolescent, la classification est quelque peu plus complexe que chez l'adulte, dus à la taille et la constitution corporelle qui évoluent rapidement et à des vitesses différentes selon l'âge et le sexe. Une des manières de procéder est de rapporter l'IMC sur des courbes de croissance (par exemple, les courbes de croissance 2000 des *Centers for Disease Control and*

Prevention (5)), permettant de déterminer où se situe le jeune, en fonction de son percentile d'IMC. Les recommandations canadiennes classifient le statut pondéral des jeunes de la manière suivante (6) :

Tableau 2 : Classification du percentile d'IMC chez l'enfant et l'adolescent.

Percentile	Classification
<85 ^e	Poids normal
≥85 ^e and <95 ^e	Surcharge pondérale
≥95 ^e	Obésité

Cependant, toute forme d'accumulation adipeuse n'est pas équivalente en ce qui concerne les risques pour la santé et, à lui seul, l'IMC ne permet pas d'évaluer la répartition des graisses (1). Comme une accumulation au niveau de la taille présente des risques délétères sur la santé beaucoup plus importants, la circonférence de taille est souvent utilisée en complément à l'IMC afin d'avoir un meilleur reflet de la composition corporelle (1). Par exemple, chez l'adulte le risque de complications métaboliques est considéré « augmenté » lorsque le tour de taille est supérieur ou égal à 80 cm chez la femme et 94 cm chez l'homme et « sensiblement augmenté » au-delà ou égal à 88 et 102 cm, chez la femme et l'homme, respectivement.

L'obésité : mortalité et morbidité

Considérée par certains comme une maladie à part entière, l'obésité constitue également un facteur de risque de plusieurs autres maladies (7). Non seulement l'obésité peut réduire considérablement la qualité de vie, elle mène aussi à un risque de mortalité accélérée accru (8).

Bien qu'il soit à noter qu'une prise de poids relativement faible, et non seulement une obésité marquée, fait courir des risques pour la santé (1), il est généralement admis que l'obésité est fortement impliquée dans le développement de maladies cardiovasculaires, du diabète de type II et de divers cancers (7).

À l'échelle mondiale, l'obésité représente une cause importante de morbidité et de mortalité. Un excès de poids est considéré comme le sixième facteur de risque le plus important contribuant au fardeau général de la maladie, mondialement (9). Les analyses de données de la Framingham Heart Study, échelonnée de 1948 à 1990, démontrent qu'en moyenne, les adultes obèses à 40 ans vivaient de six à sept années de moins que les adultes avec un poids normal (10). Ceux en surcharge pondérale vivaient environ trois ans de moins que leur contrepartie avec un poids normal (10). Dans le même ordre d'idées, la Nurses' Health Study (11) a observé, aux États-Unis auprès d'un échantillon de 115 195 femmes, une relation continue presque linéaire entre la mortalité et l'IMC. La relation entre le risque de mortalité toute cause confondue et l'IMC a aussi été étudiée dans une étude prospective de 1995 à 2005 auprès de 527 265 hommes et femmes Américains provenant de la cohorte AARP de la National Institutes of Health (12). Les analyses initiales ont démontré un risque accru de mortalité pour les catégories inférieures et supérieures d'IMC, chez les hommes et les femmes, à tout âge et dans tous les groupes ethniques. En restreignant les analyses aux participants n'ayant jamais fumé, le risque de mortalité chez les participants qui étaient en embonpoint à l'âge de 50 ans était de 20 à 40% plus élevé que celui chez les sujets ayant un IMC de 23,5 à 24,9 à cet âge, soit dans la fourchette supérieure de la zone de poids normal. Pour les sujets obèses, ce risque était trois fois plus important. L'impact de l'obésité sur la mortalité est donc non négligeable et ceci souligne l'importance d'aborder des moyens efficaces pour prévenir cette problématique.

La figure 1 résume plusieurs des complications de l'obésité chez l'adulte et l'enfant. Ces complications peuvent être d'ordre non seulement cardiométaboliques, mais également respiratoires, gastrointestinales, neurologiques, orthopédiques ou endocrines. Par ailleurs, l'obésité peut entraîner des problèmes psychosociaux non négligeables (7). Ces complications peuvent être dues directement à l'excès d'adiposité ou indirectement, en étant reliées à des caractéristiques du mode de vie ayant mené à la prise de poids, telles qu'une alimentation trop riche et une pratique insuffisante d'activité physique.

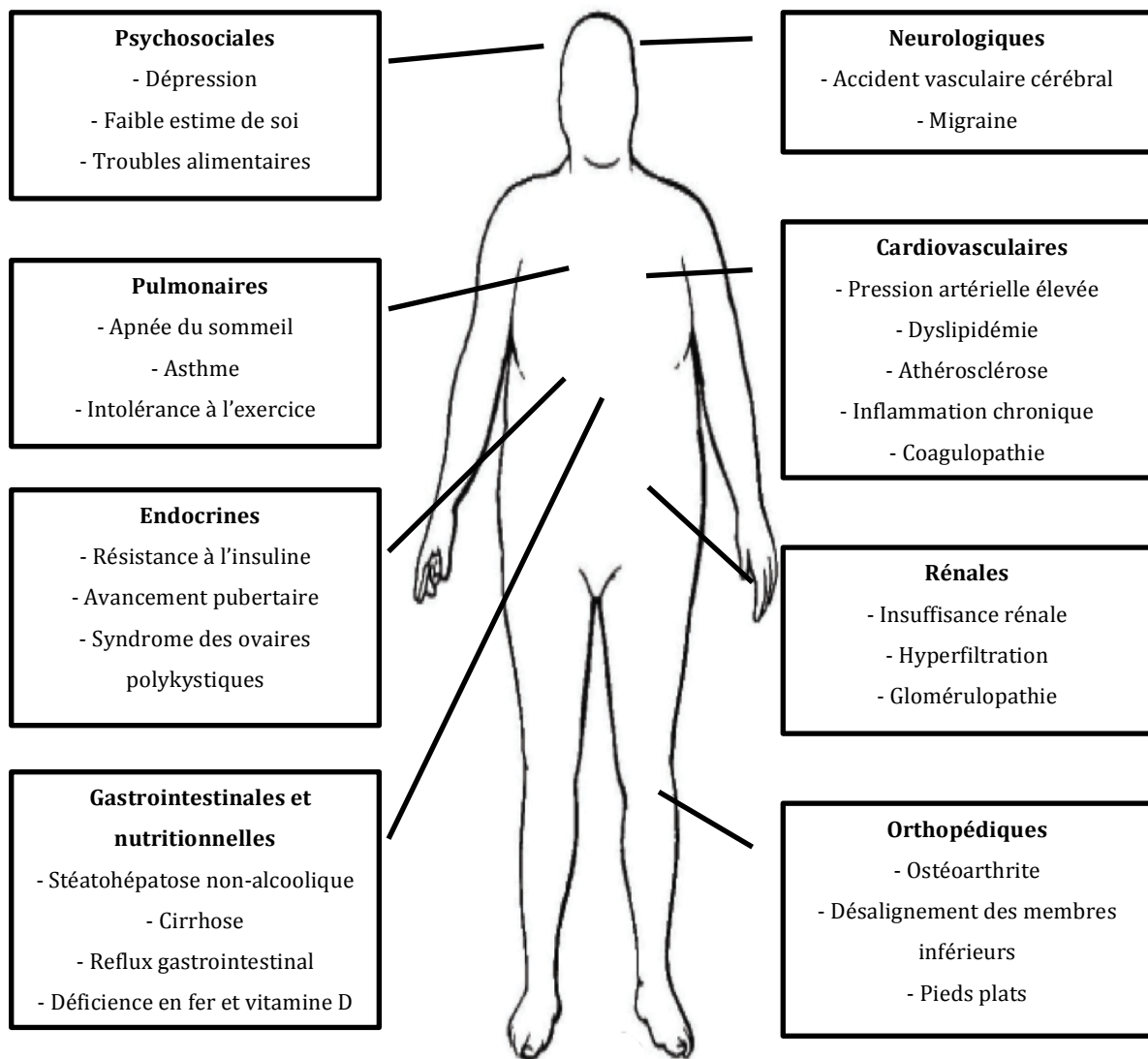


Figure 1 : Complications associées à l'obésité (1, 7, 13).

En ce qui concerne l'aspect cardiométabolique, un excès de masse adipeuse prédispose à la présence de plusieurs facteurs de risques tels que la dyslipidémie, l'hypercholestérolémie, un taux élevé d'apolipoprotéines B, l'hyperinsulinémie, l'intolérance au glucose, l'élévation de la protéine C réactive et l'hypertension artérielle (1, 7). L'obésité jouerait aussi un rôle important

comme facteur de risque indépendant concernant la morbidité et mortalité par maladies cardiovasculaires (14). Selon la Framingham Heart Study (15), après l'âge et la dyslipidémie siègerait le poids corporel comme facteur prédictif le plus important de la cardiopathie coronarienne chez l'homme. Par ailleurs, le risque d'être hypertendu serait jusqu'à cinq fois plus important chez les individus obèses que ceux avec un poids normal (16) et jusqu'à deux tiers des cas d'hypertension seraient reliés à un excès de poids (17). Une perte de poids améliorerait donc la santé cardiovasculaire, d'autant plus, qu'indépendamment du sexe, de l'âge ou du groupe ethnique, une réduction de 7,5 mm Hg de pression artérielle diastolique se situant entre 70 et 110 mm Hg s'accompagnerait diminution de 29% du risque de cardiopathie coronarienne et de 46% du risque d'accident vasculaire cérébral (18).

En plus des impacts sur le système cardiovasculaire, le risque de développer un diabète de type 2 est fortement augmenté avec une prise de poids, tel que démontré par plusieurs études transversales et prospectives (19-26). Après analyse des données de deux grandes études (21, 26), en théorie, 74% des cas de diabète de type 2 chez la femme et 64% chez l'homme auraient pu être évités si les individus avaient un IMC inférieur à 25,0 kg/m² (1). Stevens et al. (27) ont déterminé qu'environ 90% des individus qui développent un diabète de type 2 ont un IMC supérieur à 23,0 kg/m², soulignant la forte association qui existe entre l'obésité et le diabète.

Par ailleurs, dans le développement du cancer, en particulier les cancers hormonodépendants et gastro-intestinaux, l'obésité figurerait comme la plus importante cause connue qui serait possible de prévenir (7). Environ 10% des cas de mortalité par cancer chez les non-fumeurs

seraient reliés à l'obésité (7). Du quart au tiers des cancers du colon, du sein, de l'endomètre, du rein et de l'œsophage seraient expliqués par l'inactivité physique et le surplus de poids selon l'Agence Internationale pour la recherche sur le Cancer de l'OMS (9).

Chez les enfants, l'obésité est devenue une problématique d'autant plus inquiétante, car la maladie risque de persister à l'âge adulte, et ce, avec les conséquences sur la santé générale qu'on lui connaît (28, 29). Une surcharge pondérale durant l'adolescence a été associée avec une mortalité et une morbidité à long terme plus importantes (30), soulignant la nécessité d'effectuer une prise en charge efficace de la problématique de l'obésité dès l'enfance. Comme chez l'adulte, une surcharge pondérale chez le jeune est souvent associée avec une dyslipidémie, une résistance à l'insuline et une hypertension (31, 32). Dans une enquête québécoise réalisée auprès de jeunes de 9, 13 et 16 ans, la prévalence des facteurs de risques cardiométaboliques explorés (apolipoprotéines B, insuline, protéine C-réactive, tension artérielle systolique, triglycérides) était significativement plus élevée chez les participants en surcharge pondérale ou obèses (33). De plus, l'obésité sévère chez l'enfant a été associée avec une rigidité de la paroi artérielle carotidienne et une dysfonction endothéliale de l'artère brachiale, deux marqueurs connus de l'athérosclérose (34).

Bref, les impacts de l'obésité sur la santé générale autant de l'adulte que de l'enfant sont multiples et notables. Les causes menant à une surcharge pondérale doivent donc être identifiées afin de permettre une prise en charge efficace du problème dans une démarche de prévention primaire et secondaire.

B) Les déterminants de l'obésité

L'obésité étant un trouble multifactoriel, ses causes sont très nombreuses et vont de facteurs individuels à des enjeux internationaux. Réunis, ces facteurs mènent au développement plus ou moins rapide de la maladie. Allant de la génétique à la globalisation des marchés, les travaux et théories portant sur le développement de l'obésité sont nombreux. La Figure 2 dépeint les facteurs impliqués dans l'apparition d'une surcharge pondérale. Des liens existent entre tous les niveaux et plusieurs facteurs d'un même niveau sont interreliés.

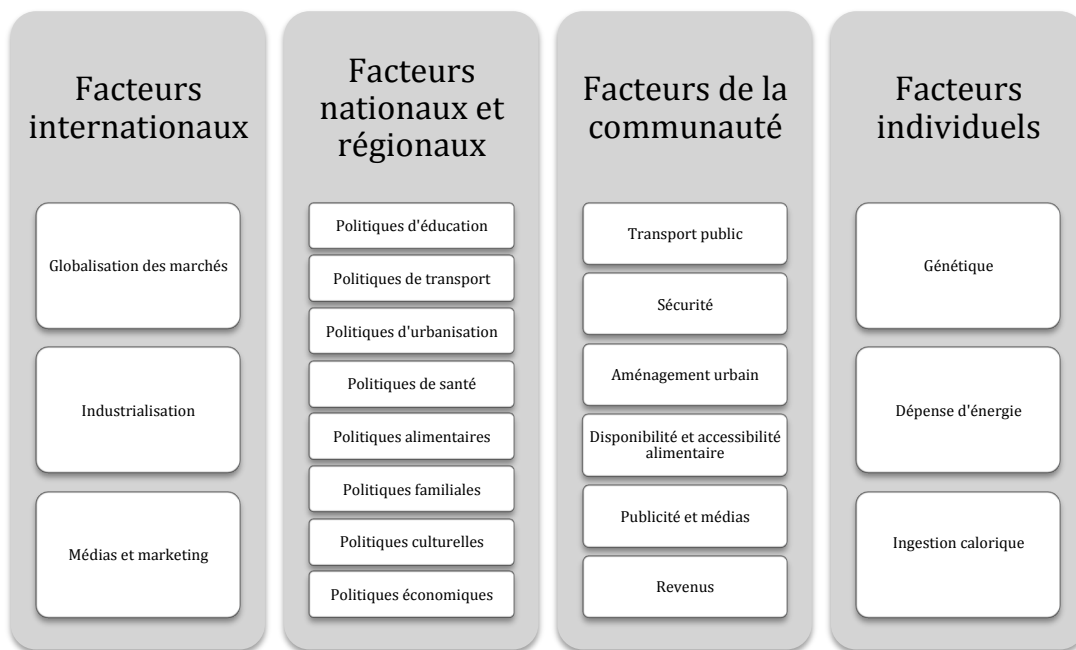


Figure 2 : Facteurs impliqués dans le développement de l'obésité (adapté de (35)).

Pour la suite de ce travail, seront explorés plus en détail que les facteurs individuels modifiables : la dépense énergétique et l'apport alimentaire.

Balance énergétique

Un apport alimentaire correspondant à la dépense énergétique, telle se définit traditionnellement une balance énergétique neutre, clé du maintien du poids corporel. Lorsque les apports alimentaires sont supérieurs à la dépense énergétique, un gain de poids s'en suit.

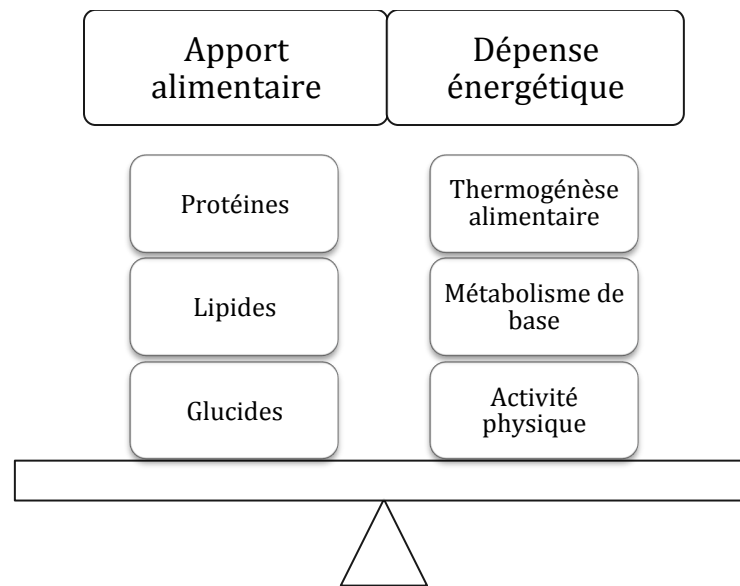


Figure 3 : Balance énergétique neutre.

Mauvaise alimentation

L'offre abondante de nourriture, les prix accessibles et la variété des produits disponibles sur le marché sont certainement des facteurs à considérer lorsqu'on tente de comprendre pourquoi une grande partie de la population se nourrit mal (36). Les habitudes alimentaires individuelles sont elles-mêmes fortement influencées par les changements qui se sont opérés dans l'industrie agroalimentaire ces dernières décennies (37). Pour expliquer un apport calorique trop important, on peut accuser, entre autres, la consommation élevée de produits à haute densité

énergétique, riches en sucres raffinés et en matières grasses, la faible consommation de fibres, de fruits et légumes ainsi que la surconsommation de boissons gazeuses, d'alcool ou de jus sucrés (38). La grande palatabilité des aliments disponibles sur le marché ainsi que leur faible potentiel de rassasiement promeuvent une consommation alimentaire accrue (38).

Sédentarité

Un comportement sédentaire correspond à une activité pendant laquelle le mouvement est réduit au minimum et la dépense énergétique est près de celle du repos ($\leq 1,5$ équivalent métabolique) (39). Regarder la télévision, lire, jouer à des jeux vidéo, travailler sur l'ordinateur, manger ou conduire une voiture sont des activités considérées comme sédentaires.

Depuis quelques années, le temps consacré aux activités sédentaires a considérablement augmenté chez les adultes et les enfants. Les données d'accélérométrie d'une étude de 2008 montrent que les enfants et adultes américains consacraient 54,9% de leur temps d'éveil à des activités sédentaires (40). Devant la popularité grandissante de la télévision et des jeux vidéo, beaucoup de jeunes passent une proportion trop grande de leur temps à ces activités. Selon les données de l'Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes (ESCC) de 2007, l'écoute de la télévision est associée à une plus grande prévalence de l'obésité chez les deux genres et une association, bien que plus modeste, est également observée pour le temps passé devant l'ordinateur (41). Plusieurs autres travaux ont souligné l'association entre le temps passé devant la télévision et l'IMC (42-45). Il semble même que ce temps d'écoute durant la jeunesse soit un facteur prédictif de la santé à l'âge adulte (poids corporel et adiposité, santé cardiovasculaire, cholestérolémie) (44-46). Parmi les facteurs pouvant expliquer cette association ressort le fait

que le temps consacré à regarder la télévision remplace celui passé à faire des activités sportives (47). Cette réduction de la pratique d'activité physique s'accompagne d'une réduction de la dépense énergétique et contribue ainsi à la création d'une balance énergétique positive. Une étude longitudinale a démontré que les enfants qui passaient le plus de temps à regarder la télévision (plus de 120 minutes par jour) à l'âge de six ans étaient moins actifs et avaient, à l'âge de huit et dix ans, des IMC supérieurs aux enfants qui regardaient moins la télévision à six ans (48). Par ailleurs, une augmentation de l'ingestion calorique via des collations non nutritives est observée lors des activités sédentaires, faisant de la sédentarité un facteur contribuant au gain de poids (41, 49).

Afin de favoriser la santé des enfants de 5 à 17 ans, la Société Canadienne de Physiologie de l'Exercice (SCPE) conseille de minimiser le temps consacré quotidiennement aux activités sédentaires. Le temps de loisir passé devant un écran devrait être limité à un maximum de deux heures par jour chez les enfants. Les déplacements par véhicule motorisé devraient aussi être limités et le temps passé en position assise et à l'intérieur pendant le jour devrait être réduit. Le transport et les jeux actifs sont fortement encouragés (50). La mise en place de programmes d'intervention en milieu scolaire semble être une stratégie prometteuse pour réduire la pratique d'activités sédentaires et réduire le poids corporel (51-53).

Activité physique

L'activité physique se définit comme tout mouvement produit par les muscles squelettiques qui induit une dépense énergétique. L'activité physique peut être de loisir, associée au travail ou à la

réalisation de tâches domestiques. La SCPE recommande aux adultes la pratique hebdomadaire de 150 minutes d'activité physique aérobie d'intensité modérée à élevée à raison de séances d'au minimum 10 minutes. Chez les jeunes de 5 à 17 ans, la recommandation s'élève à 60 minutes d'activités physiques à intensité moyenne à élevée quotidiennement. Au moins trois jours par semaine, l'intensité des activités devrait être élevée et des activités pour le renforcement musculaire sont aussi suggérées trois jours par semaine (54).

Selon les résultats de l'Enquête Canadienne sur les Mesures de Santé (ECMS), au Canada, seulement 7% des enfants et des jeunes s'adonneraient à au moins 60 minutes d'activités physiques d'intensité moyenne à vigoureuse, au moins six jours par semaine. Les proportions d'enfants et de jeunes accumulant ce nombre diminueraient avec l'âge (55). Chez les adultes, 15% respecteraient la recommandation de 150 minutes d'activité physique hebdomadairement (56). En consacrant peu de temps à l'activité physique, la dépense énergétique quotidienne totale est réduite. Ceci, tout comme pour les activités sédentaires, contribue à la création d'une balance énergétique positive et à moyen ou long terme, à une prise de poids.

Les déterminants émergents de l'obésité

Le manque d'activité physique et une alimentation déficiente sont donc les deux facteurs les plus fréquemment rapportés pour expliquer un gain de poids et constituent des cibles importantes de prévention primaire et secondaire. Au cours des dernières années, les nombreux travaux de recherche s'intéressant au développement de l'obésité ont permis d'identifier de nouveaux facteurs plus subtils pouvant être impliqués dans la balance

énergétique (57). Par exemple, des perturbateurs endocriniens tels que des pesticides, plastifiants et antimicrobiens auraient un impact sur la régulation du métabolisme (58). La venue des systèmes de climatisation et de chauffage qui facilitent la thermorégulation corporelle pourrait mener à une réduction du métabolisme basal et ainsi une réduction de la dépense énergétique (59). Le manque de sommeil mènerait également à une prise de poids via, entre autres, son action sur la leptine et la ghreline, deux hormones impliquées dans le contrôle de l'apport alimentaire (60, 61). De même, le travail mental aurait un impact sur l'ingestion calorique (57, 62-66). C'est de ce sujet que portera la suite de ce travail.

C) Le travail mental

Changements dans l'occupation principale

Au cours des dernières décennies, des transformations majeures dans le monde de vie se sont opérées, dont plusieurs favorisant une prise de poids. Les changements dans l'occupation principale sont notamment à investiguer.

Bien que chez l'adulte le temps consacré au travail n'ait pas considérablement augmenté, la nature de celui-ci a grandement évolué. De 1950-1970 à 2000, la proportion d'individus occupant un travail physiquement demandant a chuté de 30% à 20% (67). À l'opposé, le travail moins exigeant physiquement pratiqué par 23% des travailleurs en 1950 est devenu le quotidien de 41% des individus 50 ans plus tard (67). Bockerman *et al.* (68) ont également

observé une tendance similaire et ont noté que cette modification était associée à une augmentation de l'IMC. Une réduction de la demande physique au travail induit une réduction de la demande énergétique et si les apports alimentaires ne sont pas ajustés en conséquence, il y a risque de gain de poids. Cependant, selon Bockerman *et al.* (68), seulement 7% du gain d'IMC serait attribuable à la diminution de la demande physique au travail. Une étude similaire réalisée auprès d'employés industriels suivis sur une période de 28 ans n'a toutefois pas permis de relever de forte association entre la réduction de la demande physique au travail et la prise de poids (69). Les auteurs ont cependant fait ressortir que ce serait la demande intellectuelle au travail qui pourrait être associée à une prise de poids.

Chez les enfants, on rapporte également des changements dans l'occupation principale. Aux États-Unis, entre 1981 et 1997, 350 minutes supplémentaires, par semaine, seraient accordées à des activités présentant une grande demande cognitive : école, service de garde, étude, lectures, activités artistiques (70). Dans cette même étude, on souligne qu'une augmentation de la pratique sportive encadrée ainsi qu'une réduction de l'écoute télévision ont été notées durant cette période. Ces changements survenant à un moment où la prévalence de l'obésité est grandissante, l'impact des activités intellectuelles mérite d'être enquêté.

Ingestion calorique et travail mental

Dès 1930, Benedict *et al.* (71) rapportaient que le travail mental n'augmente pas de manière considérable la dépense énergétique par rapport au repos. Une hausse de 4% par rapport à une situation contrôle a été notée, ce qui correspond à environ 10 kJ de plus par heure. Plus récemment, les mêmes résultats ont été obtenus par Chaput et Tremblay (63) avec une tâche

de lecture et d'écriture d'une durée de 45 minutes où la dépense énergétique associée à la tâche n'était que de 13 kJ supérieure à celle obtenue au repos, ce qui correspond à 17 kJ/h.

Bien que la dépense calorique associée au travail mental ne soit donc pas significativement plus élevée qu'au repos, son impact sur la balance énergétique n'en est pas moins important. En effet, le travail mental serait associé à une augmentation de l'ingestion calorique. Le groupe de Chaput et Tremblay (63) ont testé 15 sujets féminins âgés entre 20 et 30 ans dans deux conditions expérimentales différentes. Dans l'une des conditions, les participantes devaient demeurer assises confortablement dans une chaise pendant 45 minutes avant d'être exposées à un buffet où elles avaient accès à de la nourriture à volonté. Dans la seconde condition, les sujets étaient exposées à une période de travail mental d'une durée de 45 minutes où elles devaient lire un texte et en faire un résumé avant qu'on leur présente le buffet. Le matin des deux rencontres, un déjeuner standard devait être consommé au laboratoire. Tel qu'illustré à la Figure 4, un apport calorique supérieur de 959 kJ suite au travail mental a été observé comparativement à la situation contrôle, et ce, malgré que les scores sur les échelles visuelles analogues ne dénotent pas une augmentation des sensations de faim suite au travail mental. En d'autres mots, le travail mental amène une situation où les sujets mangent plus sans avoir une plus grande faim. Par ailleurs, un suivi alimentaire n'a permis de déceler aucune compensation au niveau de la consommation alimentaire plus tard dans la journée.

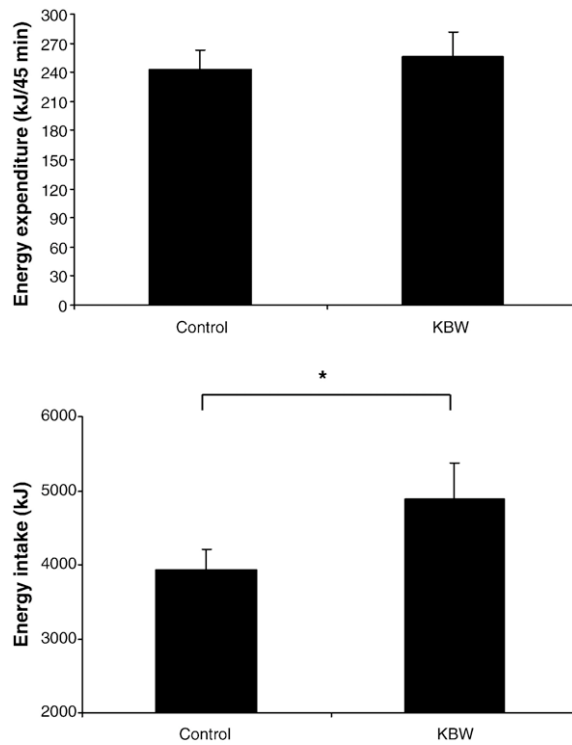


Figure 4 : Dépense énergétique lors de la tâche de repos (control) et de travail mental (KBW) et apport calorique lors du buffet suivant ces tâches. * : $p < 0,01$ (Tirée de Chaput et Tremblay (63)).

Par ailleurs, plus la tâche intellectuelle est difficile, voire impossible, plus l'ingestion calorique subséquente serait élevée. Rutters *et al.* (65) ont soumis des participants à deux conditions de travail mental : dans les deux cas, ils devaient résoudre des problèmes arithmétiques, mais pour l'une des conditions, les problèmes étaient impossibles à résoudre. Les sujets consommaient un repas standard juste avant la réalisation de la tâche, puis étaient exposés à des collations sucrées et salées à la fin de cette dernière (mise en application du paradigme « manger en l'absence de faim »). L'apport calorique suivant la tâche stressante (impossible à résoudre) était significativement plus élevé par rapport à la situation contrôle (965 vs 794 kJ, $p < 0,01$), malgré l'absence de faim. Une association positive entre le score d'anxiété et l'apport calorique a été

dénotée. Ces résultats sont conformes avec ceux de Wallis *et al.* (66) qui ont rapporté une augmentation de 15% dans l'apport en chocolat suite à une tâche de travail mental (test de Stroop) comparativement à une condition contrôle.

Si le stimulus de travail mental est maintenu dans le temps, son impact sur l'ingestion calorique pourrait perdurer. À cet égard, McCann *et al.* (64) ont comparé les apports caloriques à deux périodes différentes de l'année chez des employés traitant les demandes de subventions du National Institute of Health, à l'Université du Michigan. Ils ont observé que les employés mangeaient en moyenne 1008 ± 1348 kJ de plus quotidiennement, dans la semaine précédant la date de tombée des demandes de subventions, période où la charge de travail et le stress sont reconnus pour être significativement plus élevés.

Plusieurs travaux suggèrent donc que le travail mental et/ou le stress lié à ce dernier seraient associés à une ingestion calorique plus importante. Il semble par ailleurs y avoir une dissociation entre les sensations liées à la faim et cette dernière. Certaines perturbations physiologiques peuvent potentiellement expliquer cette augmentation de l'ingestion au-delà de la faim et des sensations associées.

Explications proposées

Outre l'effet compensateur ou consolateur que peut procurer la nourriture face à un stress émotionnel relié à une tâche mentale (72), il est suggéré que le travail mental produise lui-même des effets physiologiques promouvant une balance énergétique positive. Ces effets pourraient être indépendants du stress émotionnel (63), bien qu'il soit très difficile d'étudier

séparément l'impact du travail mental vs le stress y étant rattaché. Les mécanismes précis impliqués dans l'effet hyperphagiant du travail mental sont encore mal connus et doivent être étudiés plus précisément (62). À ce jour, les explications proposées par les auteurs s'étant attardés à la question touchent les variations de la glycémie ainsi que de la cortisolémie.

Variations de la glycémie

Il est connu qu'une baisse de la glycémie est associée à une augmentation du désir de manger (73, 74) alors que l'insuline est vue comme une hormone favorisant la satiété (75). Pour sa part, le travail intellectuel est associé à une plus grande variabilité de la glycémie (2,2 à 7,0 fois plus élevée) et de l'insulinémie (3,3 à 8,3 fois plus élevée) que ce qui est mesuré lors des conditions de repos (62, 63, 76). Ce profil instable de la glycémie pourrait contribuer à l'augmentation de l'ingestion selon la théorie glucostatique de Jean Mayer (Mayer, 1953; Mayer, 1955). Selon cette théorie, une utilisation réduite de glucose dans certaines régions critiques du cerveau mènerait à la perception de faim, alors qu'inversement, une augmentation de l'utilisation du glucose dans ces mêmes régions glucosensitives mènerait à une diminution de la faim et un arrêt de la consommation alimentaire (77). La théorie glucostatique permettrait selon Mayer d'expliquer le contrôle à court terme de l'apport alimentaire, alors qu'un mécanisme lipostatique serait impliqué dans la régulation à long terme du poids corporel et de la balance énergétique.

Le travail mental constitue une activité qui repose sur le cerveau, qui contrairement aux muscles squelettiques, utilise principalement le glucose comme substrat énergétique. Pour assurer l'homéostasie du glucose, étant donné la capacité limitée de stockages du glycogène et

l'incapacité du corps de synthétiser du glucose à partir des acides gras, l'ingestion calorique serait donc encouragée devant des variations de la glycémie perçues par le cerveau (62).

Variations de la cortisolémie

En réponse à un stress physiologique ou psychologique, l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien est activé, entraînant la libération systémique de corticostéroïdes par la glande surrénale. Un niveau accru de cortisol a été observé lors des tâches de travail mental dans l'étude de Chaput *et al.* portant sur l'ingestion calorique suite au travail mental (62). Comme certaines études démontrent que la réactivité au cortisol est associée à une augmentation de l'ingestion calorique (78, 79), cela pourrait expliquer, du moins en partie, l'ingestion calorique accrue suite à un travail mental. Parmi les mécanismes impliqués, on croit que les glucocorticoïdes interfèreraient avec l'action de l'insuline (80) et de la leptine (81). Par ailleurs, la libération du neuropeptide Y, un neurotransmetteur orexigénique, serait stimulée par les glucocorticoïdes (82). Globalement, un taux de cortisol plus élevé serait donc associé à une ingestion calorique plus importante.

D) L'activité physique comme stratégie pour contrebalancer l'effet hyperphagiant du travail mental

Comme l'obésité est une problématique multifactorielle, une prévention et une prise en charge efficaces impliquent une multitude de petites et plus importantes actions, dans divers secteurs de la société. À ce jour, aucune stratégie n'a été proposée pour lutter contre l'effet

hyperphagiant du travail mental. Étant donné qu'une grande partie de la population est exposée au travail mental (enfants à l'école et adultes au travail), des stratégies doivent être envisagées afin de favoriser le maintien d'un équilibre énergétique et ainsi contribuer au maintien d'un poids corporel sain. À l'heure actuelle, dans les travaux étudiant l'impact du travail mental sur la balance énergétique, la présentation du buffet *ad libitum* se faisait peu de temps après la tâche sollicitant l'intellect. L'étape préalable était de déterminer si l'ingestion d'un délai entre un travail mental et un repas pouvait influencer l'ingestion calorique. L'objectif principal du présent projet était par la suite de déterminer si l'introduction d'une pause d'activité physique entre un travail mental et un repas serait une stratégie efficace pour contrebalancer l'effet hyperphagiant du travail mental, via : 1) la dépense énergétique engendrée par l'activité physique ; 2) l'impact de l'activité physique sur l'ingestion calorique.

Dépense énergétique occasionnée par l'activité physique

Sur le plan énergétique, l'activité physique facilite l'équilibre entre l'apport et la dépense énergétique. En combinaison avec une alimentation saine favorisant la satiété, l'activité physique permet le maintien d'un poids corporel sain et peut entraîner une perte de poids chez les individus en surcharge pondérale. Le déficit énergétique causé par l'activité physique dépend de plusieurs facteurs, tels que la durée de l'exercice et son coût énergétique (76). Théoriquement, un individu de 70 kg qui marche à une vitesse de 5 km/h pendant 30 minutes dépensera 540 kJ. À la course (10 km/h), pour une même durée, ce même individu dépenserait 1544 kJ. Des modifications métaboliques s'opèrent également suite à une période d'activité physique, contribuant à une légère augmentation du métabolisme de repos, et donc, de la dépense énergétique. Le gain en dépense énergétique suivant une séance d'exercice est

toutefois assez limité et dépend de la durée et de l'intensité de la séance (83). De manière générale, on parle d'environ 630 kJ sur une période de 12h pour une séance d'entraînement aérobie (84).

Apport énergétique suite à l'activité physique

En plus d'engendrer une dépense énergétique, l'activité physique pourrait avoir un impact sur la consommation alimentaire post-exercice et les sensations liées à l'appétit. Bien que plusieurs études ont démontré que l'activité physique n'augmentait pas la faim, ni l'ingestion calorique (85-91), et ce même après un exercice à haute intensité (90), d'autres études révèlent que l'activité physique induirait une diminution de la faim, phénomène connu sous le nom d'anorexie post-exercice (92). Dans d'autres travaux (86), on a dénoté que les sensations associées à la faim pouvaient augmenter après l'effort, mais une dissociation entre les sensations et l'ingestion calorique peut exister, ce qui amène parfois à une ingestion calorique parfois équivalente ou réduite. Parmi les mécanismes invoqués pour expliquer l'effet anorexigène de l'activité physique, notons la réduction des taux circulants de ghreline acylée, hormone favorisant l'appétit. Cet effet durerait jusqu'à neuf heures après l'effort (93). Certains autres peptides favorisant la satiété et la réduction de l'ingestion calorique sont observés en plus grande quantité suite à la pratique d'une activité physique : glucagon-like peptide 1 (GLP-1), peptide YY (PYY) polypeptide pancréatique (PP) et cholécystokinine (94, 95). D'autres auteurs (95, 96) ont de leur côté observé une augmentation de l'ingestion calorique suite à une période d'activité physique, mais une fois que la dépense énergétique de l'effort était prise en compte, le bilan calorique s'avérait néanmoins équivalent ou inférieur à celui de la condition

contrôle. Il n'y a donc actuellement pas de consensus quant à l'effet de l'activité physique sur l'ingestion calorique et les sensations de faim.

Chez l'animal, il a été démontré qu'une séance d'exercice améliore la sensibilité à l'insuline et à la leptine au niveau de l'hypothalamus, région fortement impliquée dans le contrôle de l'ingestion calorique (97). L'apport calorique était également réduit suite à l'activité physique. La pratique régulière d'activité physique, par son action sur la sensibilité à l'insuline, permettrait un meilleur contrôle de la glycémie et donc, pourrait atténuer les effets délétères du travail mental sur l'ingestion calorique (62).

E) Enjeux du projet

À défaut d'abolir le travail intellectuel, ce qui irait à l'encontre de l'apprentissage des jeunes et de la réalité en milieu de travail, le projet pourrait supporter une réorganisation efficace de l'horaire. Concrètement, il pourrait s'avérer judicieux d'espacer les périodes de travail mental des repas par des pauses qui, au lieu d'être prises après les repas comme c'est souvent le cas à l'école, au travail ou à la maison, seraient positionnées entre les tâches cognitives et les repas.

L'article qui suit – *Physical activity to counteract the hyperphagic effect of knowledge-based work* – résume l'ensemble du projet.

Physical activity to counteract the hyperphagic effect of knowledge-based work

Title : Physical activity to counteract the hyperphagic effect of knowledge-based work

Running title: Knowledge-based work and energy balance

Type of manuscript: original article

Word count: abstract = 249; manuscript = 4294

Number of references: 48

Number of tables: 2

Number of figures: 6

Authors: Valérie Lemay^{1,2} 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

Corresponding author: Marie-Eve Mathieu, Département de kinésiologie, Université de Montréal, Bureau 8223, CP 6128, Succursale centre-ville, Montréal, Québec (Canada), H3C 3J7; Tel. 514-343-6737

No conflict of interest to declare.

ABSTRACT

Objective: Although energy expenditure during knowledge-based work is not higher than energy expenditure at rest, a stressful mental task is related to an increase in energy intake. It is suggested that mental work produces physiological changes, thereby influencing food intake. Because physical activity can influence hunger, the aim of the study was to determine if the introduction of an active pause could counteract the negative effects of mental work on energy intake and energy balance.

Method: Twelve male students of normal weight between 14 and 20 years old were evaluated. All subjects participated in three different sessions realised in a randomized order: a) NO_{pause}visit = relaxation/mental work/meal; b) REL_{pause}visit = mental work/relaxation/meal; and c) PA_{pause}visit = mental work/physical activity/meal. The effect of introducing an active pause on energy intake and energy balance was studied by comparing visits with paired t-tests (level of significance: $p < 0.05$).

Results: The introduction of an active pause did not influence energy intake, and this, even though higher appetite-related sensations were observed. Taking into account energy expenditure related to physical activity, a lower energy balance was measured for the PA_{pause}visit compared to the NO_{pause}visit.

Conclusion: This study is the first to confirm that being active between mental work and a meal represents a good strategy to counteract the hyperphagic effect of knowledge-based work mainly via an increased energy expenditure and a maintenance of energy intake. Globally, these results could help individuals attain and/or maintain a healthy body weight in a context where knowledge-based work is omnipresent.

Keywords : adolescent, energy balance, exercise, obesity

INTRODUCTION

Poor dietary habits, a reduction in physical demand for both occupational and leisure activities, and a more sedentary lifestyle are the primary factors underlying the positive energy balance that leads to increasing rates of obesity (1). Recent literature suggest that new factors might play an important role in the control of energy balance, such as endocrine perturbators (pesticides, plastificators, anti-microbials, etc.), air conditioning and heating systems, and lack of sleep (1, 2, 3, 4). Recently, knowledge-based work (KBW) has also been identified as a factor influencing energy intake (5).

Although energy expenditure related to KBW is not significantly higher than at rest (6), a mental task lasting 45 minutes elicited a caloric intake of 959 kilojoules (kJ) higher when compared to a rest situation, with no reduction in food consumption at subsequent meals (7). Other studies have concluded that performing a stressful mental task was related to an increase in food intake, despite the absence of hunger (8). In addition to the compensatory effect that food might have when dealing with the emotional stress of demanding cognitive work, research has shown that mental work itself produces physiological effects associated with changes in energy intake (9). According to the glucostatic theory of appetite control, glycemic variations observed during a cognitive task encourage energy intake to maintain glucose homeostasis, glucose being the principal substrate oxidized in the brain (10, 11). Also, higher cortisol levels observed during a stressful task are associated with increased ingestion of food (9, 12), which may occur because glucocorticoids interfere with insulin (13) and leptin (14) action. Moreover, the liberation of neuropeptide Y, an orexigenic neurotransmitter, is

stimulated by glucocorticoids (15). Since a large part of the population is exposed to KBW (e.g., adults at work or children at and after school), strategies need to be developed to promote the maintenance of a healthy body weight.

In recent publications investigating the impact of mental work on energy balance, *ad libitum* food access was offered to subjects shortly (<15 minutes) after an intellectual task (7, 9). Because physical activity can induce a short-term anorexigenic effect (16-18) by influencing hormones involved in satiety (e.g., leptin, acylated ghrelin, glucose-like peptide 1, peptide YY, cholecystokinin) (19) and has a positive impact on insulin sensitivity (20), it can be suggested that the introduction of an active pause between a period of mental work and a meal might be a good strategy to reduce energy intake following KBW. Moreover, physical activity induces energy expenditure that can lead to a negative energy balance and, thus, to a better control of body weight (21).

Therefore, the aim of the study was to determine if the introduction of an active pause between a meal and a mental task might counteract the negative effects of KBW in the control of food intake in normal-weight adolescent males. This study could help optimize the scheduling of daily activities (e.g., mental work, relaxation, physical activity, and meals) to help maintain or improve body weight within constraints imposed by our society. To date, no information is available on strategies that could counteract KBW-related hyperphagia. Our hypothesis stated that an active pause between a bout of mental work and a meal would induce a lower energy intake compared to a session without a pause. We also wanted to investigate whether there was a more vulnerable phenotype (e.g. higher degree of general anxiety and food

restraint) for which the active pause would more efficiently counteract the negative effect of KBW on energy intake.

METHOD

Sample

Twelve boys, aged 14 to 20 years, with a healthy body weight were recruited to take part in the project. To be included in the study, participants could not 1) follow a specific diet or be vegetarian; 2) have been diagnosed with a metabolic disease; 3) have been diagnosed with anorexia, bulimia, or another eating disorder; 4) have been diagnosed with an intestinal disorder; or 5) receive medication that could influence results of the study (e.g., oral hypoglycemic, insulin, beta-blockers, growth hormone, or thyroid medications).

The study was approved by the Ethics Committee of Sainte-Justine UHC and Université de Montréal. The written consent of participants and parents, when necessary, was obtained prior to the start of the study. Because the principal dependent variable in this project was food intake, which is easily modifiable, the primary aim of the study was hidden from the subjects. Study subjects were told that the intention of the study was to document changes in respiratory, cardiac, metabolic, and behavioural parameters while executing various tasks (e.g., relaxation, physical activity, food consumption, and mental work). At the end of the experimental period, all participants were contacted and the actual purpose of the study was explained to them. Participants were then given the option to withdraw from the study and all

participants signed the second consent form, allowing use of their research data for analysis. Financial compensation of \$12 Canadian dollars per visit was offered to subjects for expenses related to study participation (parking and transportation).

Procedures

All participants traveled to Sainte-Justine UHC for four individual meetings (preliminary visit + visits NO_{pause} , REL_{pause} and PA_{pause}). The visits were spaced a minimum of five days apart. Generally, participants were scheduled for visits to the lab during four consecutive weeks on the same day of the week. Only the examiner and the participant were allowed in the lab during the sessions. The same research professional performed all tests for a given subject.

Preliminary visit

All participants met study inclusion criteria and completed the Physical Activity Readiness Questionnaire (22). A list of all foods included in the meal was shown to each participant to determine any potential food allergies. Participants also completed the Three Factor Eating Questionnaire (TFEQ) (23) to create a profile of cognitive restriction towards food, disinhibition, and susceptibility to hunger. The State and Trait Anxiety Inventory for Children, trait form (STAI-C) (24), was also completed to evaluate basal anxiety levels.

Anthropometric measurements

Anthropometric measurements of each participant were taken following standard procedures : height was measured with a standing stadiometer (precision of 0.1 cm), and body weight was

measured on an electronic scale (Tanita BC-418, Tanita Corporation of America, Arlington Heights, IL) at 0.1 kg precision. Body Mass Index (BMI) was calculated, and subjects were considered to have a healthy body weight if they met the current criteria utilized in Canada, which is $BMI \leq 25 \text{ kg/m}^2$ (≥ 18 years old) or ≤ 85 th percentile specific to age and gender (< 18 years old) (25). Body fat percentage was determined using a bioimpedance scale with eight electrodes (Tanita BC-418, Tanita Corporation of America, Arlington Heights, IL), following Tanita standardized instructions. Waist circumference was measured at the iliac crest at a precision of 0.1 cm.

Maximal effort test

A progressive maximal test with indirect calorimetry was performed on a treadmill (FVX 328, Full Vision, Newton) to determine aerobic capacity ($VO_{2\text{peak}}$) and the intensity of work for the active phase. Gas and volume calibration were conducted prior to each test (Quark CPET, COSMED, Italy). Treadmill speed for the initial stage was set at 5 km/h (0% incline) with an increase of one metabolic equivalent (1 km/h or 2% incline) per two minutes until exhaustion. During the last 30 seconds of each stage, the OMNI-running scale (26) was presented to the subjects, who were asked to select a number that represented their exercise intensity. Heart rate was measured continuously with a heart rate monitor (Garmin, KS, USA). Breath-by-breath data were averaged at 30-second intervals to determine the $VO_{2\text{peak}}$.

Visits NO_{pause} , REL_{pause} and PA_{pause}

Following the preliminary visit, each subject was asked to participate in three randomly ordered sessions. Visits took place between 9:50am and 12:35pm, and subjects were informed of the exact content of the session upon arrival at the lab. Before each visit, participants ate a meal at home, which consisted of a standard breakfast given to them at the preceding visit. The standard breakfast was composed of white bread, orange juice, cheddar cheese, butter, and peanut butter (2993 kJ; 14% protein, 42% fat, and 44% carbohydrate). Participants were asked to restrain from alcohol, caffeine, tobacco and intense physical activity in the 24 hours prior to each visit. For the five days preceding each visit, subjects were also asked to wear a pedometer (NewLifestyle, SW-200, Lees Summit, MO, USA) and to note the number of hours slept. As much as possible, subjects were asked to keep the preceding variables constant from one visit to the next to standardize lab conditions at each visit.

All visits were composed of the same tasks, but were performed in a different order each time: a) NO_{pause} = passive pause KBW, meal; b) REL_{pause} = KBW, passive pause, meal; and c) PA_{pause} = KBW, active pause, meal. Visit REL_{pause} was used as a control condition to determine if it was rather a delay between KBW and the meal or the active pause itself that could influence energy intake. Energy intake and balance of visits NO_{pause} and REL_{pause} were compared with paired t-tests. No differences were observed ($p > 0,05$) for the two parameters (energy intake and energy balance), so only the data from visits NO_{pause} and PA_{pause} were used for the rest of the analyses.

At different time points during the visits, arterial blood pressure (BPM-100, VSM MedTech BpTRU™, Canada) and capillary glycemia were measured (FreeStyle Lite, Abbott, Canada). At the end of each task, subjects completed the STAI-C to evaluate the progression of their anxiety levels during the visit, the NASA-Task Load Index (NASA-TLX) (27) to evaluate the global demand of each task (e.g., mental demand, physical demand, temporal demand, effort, frustration and performance), and four visual analog scales (VAS) to document hunger, fullness, prospective food consumption, and the desire to eat (adapted from Hill (28) and used by Chaput (9)). Figure 1 summarizes the sequence for each visit.

Relaxation

During the passive pause, the subjects were comfortably seated on a chair for a period of 30 minutes. This duration was chosen because it has been shown in previous study that it was a sufficient amount of time to induce an anorexigenic effect (17) and because of its feasibility in real-life settings. They were not allowed to close their eyes, read, or do anything else during this period. An audio recording with relaxation exercises was played during the first five minutes of the session, encouraging subjects to be conscious about their breathing and relax.

Physical activity

The physical activity task took place on a treadmill and lasted 30 minutes. The intensity of the effort corresponded to 70% of maximal heart rate (HR_{max}), which was assessed during the effort test at the preliminary visit. Speed and/or incline of the treadmill were adjusted during the task to attain a target heart rate ± 5 beats per minute.

KBW

During the 45-minute period of KBW, the subjects completed different cognitive tests adapted for adolescents. This duration of KBW was associated to an increased energy intake in previous studies (7, 9). At each visit, a different version of the same test was presented in identical order. The tests included the Penn State Cancellation Test for visual attention and visual tracking (29), the Controlled Oral Word Association for verbal fluidity (30), the Hopkins Verbal Learning Test for auditive learning (31), the Brief Visual Memory Test for short and long term visual memory (32), the Color Trails Test for sustained attention, sequencing and associated executive functions (33), the Nagliery Non-Verbal Ability Test for non-verbal reasoning (34), and the Symbol Digit Modality Test for attention and speed of information processing (35).

Meal

At noon on the day of each visit, participants were guided in the same room where a cold buffet-type meal of 40 items was displayed. Composition of the meal was based on food items used in studies conducted by Arvaniti *et al.* (36) and Chaput *et al.* (7). The amount of food presented was greater than the amount expected to be consumed. Subjects were told that they had 30 minutes to eat until they felt satisfied. Without the participants' knowledge, all food items were weighed on an electronic scale (SLF3001-US, Fisher Science Education, Hanover Park, IL) prior to being placed on the buffet table and at the end of the meal. Caloric ingestion was determined calculating the difference between the amount of food offered and the amount

consumed. Total caloric intake and composition of macronutrients were calculated by using food labels and the Canadian Nutrient File of Health Canada (37).

Calculation of energy balance

To calculate energy expenditure associated with the different tasks, indirect calorimetry was used. Volume and composition of inspired and expired gases were measured (Quark CPET, COSMED, Italy) for a 10-minute period during KBW and during both passive and active pauses. A table of non-protein respiratory quotients developed by Peronnet and Massicotte (38) was used to determine the energetic equivalent of oxygen during each task, and the energy expenditure related to each activity was then calculated. Measures obtained during each 10-minute period were extrapolated to determine energy expenditure for the entire duration of the tasks for KBW (45 minutes) and active/passive pauses (30 minutes each). The energy balance for each visit was calculated as follows: (energy intake during the meal) – (energy expenditure of tasks completed [KBW and active or passive pause]).

Statistics

To determine if there was a significant difference for most study variables between visits NO_{pause} and PA_{pause} , paired t-tests were used. The level of statistical significance was set at 0.05. Sub-analyses were conducted to determine if a specific profile of individuals responded better to the potential beneficial effect of an active pause during food intake. The subjects were divided into two categories for the food consumption profile (based on TFEQ score): a) high/low food restriction; b) high/low disinhibition; and c) high/low susceptibility to hunger.

For the general anxiety profile, the subjects were also separated into either the high or low anxiety groups based on their STAI-C scores. The cutoffs for these groups were calculated using two different methods: 1) analysis of median scores and 2) the division of the sample into three groups, with only the group with higher scores and the group with lower scores being retained for comparison. Caloric intake of visit NO_{pause} was subtracted from the caloric intake of visit PA_{pause} to determine the difference between the two visits. Unpaired t-tests were utilized to detect whether this difference was the same among high/low profiles of anxiety and eating behaviors. Analyses were performed with SPSS statistical software (version 20.0, IBM, Armonk, NY, United States).

RESULTS

Twelve participants took part in the project and nine agreed to serum glycemetic measurements. The mean age of participants was 17.5 years. Resting parameters and anthropometric measurements of the sample are presented in Table 1.

Differences observed between relaxation and KBW

Table 2 presents changes that occurred during KBW compared to relaxation during visit NO_{pause}. Global demand, as assessed by the NASA-TLX, was 2.2 times higher during KBW than during the relaxation period ($p < 0.05$). The STAI-C score at the end of the relaxation or KBW period was subtracted from the score obtained upon arrival at the lab or at the end of the relaxation period to detect the change in anxiety levels following the testing condition.

Anxiety levels decreased following the relaxation period but increased after KBW, indicating that tests chosen for KBW elicited anxiety. Mean glycemic levels were lower during KBW, but no difference was observed for glycemic variability defined as the sum of absolute changes in glycemia. There was a trend toward increased blood pressure during KBW (SBP: $p=0.059$, DBP: $p=0.087$).

Energy intake and balance

Energy intake and balance for visits NO_{pause} and PA_{pause} are shown in Figure 2. Energy intake was not different between the two visits, but energy balance, which includes energy expenditure, was 25% lower during visit PA_{pause} (-1137 kJ). No differences were observed in the percentage of carbohydrates, lipids, and proteins ingested between the two visits (data not presented).

Visual analog scales

At the time of arrival at the lab, appetite related sensations (e.g., desire to eat, hunger, fullness, and anticipated food consumption) were the same for visits NO_{pause} and PA_{pause} . Before the meal, there was a 22% increase in desire to eat (Figure 3) and hunger (Figure 4). A reduction of 55% in fullness (Figure 5) and an increase of 19% in anticipated food consumption (Figure 6) were observed during visit PA_{pause} compared to visit NO_{pause} . After the meal, no difference between visits was observed for any of the study variables.

Profile of individuals (TFEQ and STAI-C)

No differences were found between the high/low groups for variables related to food consumption, which included restriction, disinhibition, and susceptibility to hunger. Additionally, no differences were observed between high/low general anxiety levels (data not presented).

DISCUSSION

Research conducted over the last few years has identified KBW as a factor influencing energy intake and, thus, the control of energy balance. Children are exposed to KBW on a daily basis, and it is not realistic to eliminate or reduce to a large extent KBW without interfering with learning and performance. Therefore, strategies to diminish the impact of KBW on energy intake are greatly needed. This study is the first to raise this issue and evaluate a strategy for improvement. When accounting for the energy expenditure related to the physical activity pause, a lower energy balance was observed for the PA_{pause} visit. However, the introduction of an active pause between KBW and a meal did not result in a reduction in food intake. It is interesting to note that subjects' energy intake remained unchanged in comparison with the visit NO_{pause}, even though they mentioned feeling hungrier and their anticipated food consumption was higher following the physical activity period.

In studies conducted on the hyperphagic effect of KBW, Chaput *et al.* (7, 9) observed a mean caloric intake of approximately 950 more kilojoules following 45 minutes tasks of mental work

(848 to 959 kJ following a reading/summarizing task and 1057 kJ following the achievement of a battery of mental tests). This is an excess caloric consumption equivalent to 19 to 21 kJ per minute of mental work. Since energy expenditure associated with a mental work task was not significantly higher than that at rest, the authors concluded that KBW could lead to a positive energy balance. Based on these results, we created three experimental conditions to document the effect of introducing a pause following mental work. During our PA_{pause} visit, the energy expenditure related to a 45-minute period of mental work was 382 kJ. The introduction of a 30-minute period of physical activity (70% HR_{max}) created a caloric deficit of 1188 ±178 kJ (40 kJ/min). This effect led to a significantly lower energy balance during the PA_{pause} visit compared to the NO_{pause} visit. Hence, 30 minutes of physical activity at moderate intensity is sufficient to compensate for the kilojoules ingested following KBW. This finding is especially important because this study also revealed that waiting (passive pause), as observed during the REL_{pause} visit, does not change energy intake following KBW.

One factor thought to be involved in increased energy intake following KBW is an unstable glycemic profile during mental work. Chaput *et al.* (9) observed more important variations of glycemia, as high as six and seven times higher during KBW compared to a control situation. However, the authors did not detect any difference in mean glycemic levels over a period of 45 minutes. According to Mayer's glucostatic theory (11), reduced utilization of glucose in some critical regions of the brain would lead to the perception of hunger. Inversely, an increase in glucose utilization, such as in KBW, in these same glucosensitive regions would lead to a decrease in hunger and cessation of food consumption. This theory would explain a short-term control of food intake while a lipostatic mechanism would be involved in a long-term control

of energy balance (11). In this study, mean glycemic levels during KBW were lower than those obtained during relaxation. For glycemic instability, no significant differences were noted between KBW and relaxation.

It has been suggested that physical activity could influence appetite-related sensations and/or reduce caloric ingestion (16, 19, 39, 40). Our hypothesis stated that by introducing a pause of physical activity between achievement of KBW and the presentation of the buffet, it would be possible to reduce energy intake during the meal. No significant difference in energy intake was noted between the visit with an active pause (4927 ± 1351 kJ) and the visit without a pause (5095 ± 1305 kJ), although subjects mentioned feeling more hungry after exercise and anticipated eating more. Several studies (41, 42) suggest that appetite-related sensations expressed by subjects are not an accurate way of measuring the subsequent food intake, supporting the importance of measuring food and actual ingestion such as in this study. Recent literature does not seem to provide a consensus concerning appetite sensations observed following physical effort. In some cases, appetite is increased (39); in other cases, these sensations are reduced (known as post-exercise anorexia) (40). Discrepancies observed concerning the anorexigenic effect of physical activity could be explained by several factors, including the duration and intensity of exercise (16). In addition, different responses based on gender (43) and body weight (44, 45) have been observed (19).

For this project, a 30-minute period of moderate intensity ($70\% \text{HR}_{\text{max}}$) exercise (walking or running) was chosen to mimic a real-life activitie. Some evidence suggests that modifications in exercise intensity might influence hunger and subsequent energy intake. In fact, Imbeault *et*

al. (17) compared the energy intake in males following two sessions of physical activity: one at 35% VO_{2max} and the other at 75% of VO_{2max} . The duration of both sessions was adjusted so that the energy expenditure would be the same despite the differences in exercise intensity. Feelings of hunger and fullness following exercise were determined to be the same in both conditions. Nevertheless, at the higher intensity, physical activity induced a greater reduction in food intake. Thus, it would be interesting to consider a high-intensity exercise pause to determine how food intake would be influenced.

Cognitive restraint eating is a consistent predictor of overeating under stress (46). Consequently, we thought that physical activity following mental work could have a different effect on food intake, depending on anxiety and food consumption profiles. However, no differences were observed. This could potentially be because of the small amount of variability in the participants profiles or because the introduction of physical activity had the same impact on energy intake regardless of anxiety and food consumption profiles. Further research in this area should take different participant profiles into consideration.

A novelty in this project concerning KBW is based on the battery of mental tests that were chosen and specifically adapted to an adolescent population. In previous studies, tasks involved reading then subsequently summarizing a text, or solving arithmetic problems. For this study, several tests were chosen to solicit different cognitive capacities and, thus, to reproduce what adolescents experience daily at school. A time limit was imposed on the tests to generate moderate stress. Participants were asked to complete tasks such as drawing figures, listing words, connecting sequences of numbers together, and crossing out images rapidly.

When comparing physiological responses measured during KBW to those observed during a relaxation period in the same visit, the subjects exhibited an increase in systolic and diastolic blood pressure during KBW, suggesting that participants considered the tasks somewhat stressful. Rutter *et al.* (8) noted that mental work perceived as stressful generated increased energy intake. In fact, the authors compared energy intake between a mental task that consisted of solving arithmetic problems and a task in which the mathematical problems were impossible to solve. The energy intake was higher under the more stressful condition (unsolvable problems) compared to the control condition. In our project, state anxiety, as assessed by the STAI-C questionnaire, was higher during KBW. The NASA-TLX scores indicated that the KBW period was perceived as more demanding than the relaxation period. It is notable that in contrast with the results reported by Chaput *et al.* (7, 9) and Benedict *et al.* (47), who noted similar energy expenditure for both the KBW and rest periods, the energy expenditure related to KBW was 7% higher ($p < 0.05$) than during the relaxation period. This finding could be explained by our choice of KBW tests, which involved small movements by the subjects.

The establishment of this project in schools could be achieved relatively easily. The noon recess period could be scheduled prior to the lunchtime meal, and some structured physical activities could be planned during recess. Most of the time, children eat a prepared lunch and are not exposed to unlimited food choices. Thus, it is obvious that results obtained in the lab under controlled experimental conditions are different than what takes place in real-life settings. One limitation of this study is that the sample was restricted to normal weight adolescents. Women respond differently when exposed to a meal after physical activity of

various intensities (48). Body weight can also influence energy intake post-exercise (44, 45). To date, no study has been conducted on the hyperphagic effects of KBW among overweight individuals, and this question should be addressed.

In conclusion, a 30-minute period of physical activity between KBW and a meal compensated for the excess energy intake associated with KBW. More importantly, no impact was observed on energy intake, even though the participants mentioned feeling more hungry after exercise. These results support the introduction of an active pause between KBW and a meal to help maintain an energy balance via increased energy expenditure. Further studies are needed to identify the optimal intensity and timing of physical activity throughout the day to optimize energy expenditure and favour a negative energy balance. Results should also be reproduced with a sample of girls.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by a study grant from Fondation des étoiles and UHC Sainte-Justine Foundation.

REFERENCES

1. Tremblay A, Chaput JP. About unsuspected potential determinants of obesity. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2008;33(4):791-6.
2. Casals-Casas C, Desvergne B. Endocrine disruptors: from endocrine to metabolic disruption. *Annual review of physiology*. 2011;73:135-62.
3. Chaput JP, Tremblay A. Does short sleep duration favor abdominal adiposity in children? *International journal of pediatric obesity : IJPO : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2007;2(3):188-91.
4. Liu J, Zhang A, Li L. Sleep duration and overweight/obesity in children: Review and implications for pediatric nursing. *Journal for specialists in pediatric nursing : JSPN*. 2012;17(3):193-204.
5. Chaput JP, Tremblay A. Obesity and physical inactivity: the relevance of reconsidering the notion of sedentariness. *Obes Facts*. 2009;2(4):249-54.
6. Passmore R, Durnin JV. Human energy expenditure. *Physiol Rev*. 1955;35(4):801-40.
7. Chaput JP, Tremblay A. Acute effects of knowledge-based work on feeding behavior and energy intake. *Physiol Behav*. 2007;90(1):66-72.
8. Rutters F, Nieuwenhuizen AG, Lemmens SG, Born JM, Westerterp-Plantenga MS. Acute stress-related changes in eating in the absence of hunger. *Obesity (Silver Spring)*. 2009;17(1):72-77.
9. Chaput JP, Drapeau V, Poirier P, Teasdale N, Tremblay A. Glycemic instability and spontaneous energy intake: association with knowledge-based work. *Psychosom Med*. 2008;70(7):797-804.
10. Chaput JP, Tremblay A. The glucostatic theory of appetite control and the risk of obesity and diabetes. *Int J Obes (Lond)*. 2009;33(1):46-53.
11. Mayer J. Glucostatic mechanism of regulation of food intake. *N Engl J Med*. 1953;249(1):13-6.
12. Adam TC, Epel ES. Stress, eating and the reward system. *Physiol Behav*. 2007;91(4):449-58.
13. Dallman MF, Strack AM, Akana SF, Bradbury MJ, Hanson ES, Scribner KA, et al. Feast and famine: critical role of glucocorticoids with insulin in daily energy flow. *Frontiers in neuroendocrinology*. 1993;14(4):303-47.

14. Zakrzewska KE, Cusin I, Sainsbury A, Rohner-Jeanrenaud F, Jeanrenaud B. Glucocorticoids as counterregulatory hormones of leptin: toward an understanding of leptin resistance. *Diabetes*. 1997;46(4):717-9.
15. Zakrzewska KE, Cusin I, Stricker-Krongrad A, Boss O, Ricquier D, Jeanrenaud B, et al. Induction of obesity and hyperleptinemia by central glucocorticoid infusion in the rat. *Diabetes*. 1999;48(2):365-70.
16. 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(3):651-61.
17. Imbeault P, Saint-Pierre S, Almeras N, Tremblay A. Acute effects of exercise on energy intake and feeding behaviour. *Br J Nutr*. 1997;77(4):511-21.
18. King NA, Tremblay A, Blundell JE. Effects of exercise on appetite control: implications for energy balance. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(8):1076-89.
19. Martins C, Morgan L, Truby H. A review of the effects of exercise on appetite regulation: an obesity perspective. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32(9):1337-47.
20. Flores MB, Fernandes MF, Ropelle ER, Faria MC, Ueno M, Velloso LA, et al. Exercise improves insulin and leptin sensitivity in hypothalamus of Wistar rats. *Diabetes*. 2006;55(9):2554-61.
21. Tremblay A, Therrien F. Physical activity and body functionality: implications for obesity prevention and treatment. *Can J Physiol Pharmacol*. 2006;84(2):149-56.
22. SCPE. Questionnaire d'aptitude à l'activité physique – Q-AAP et vous 2002 [cited 2012 February, 2nd]. Available from: <http://www.csep.ca/CMFiles/publications/parq/Q-AAP.pdf>.
23. Stunkard AJ, Messick S. The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *Journal of psychosomatic research*. 1985;29(1):71-83.
24. Spielberger CD, Edwards CD, Montuori J, Lushene R. State-Trait Anxiety Inventory for Children CA: Menlo Park. Available from: <http://www.mindgarden.com/>.
25. Lau DC, Douketis JD, Morrison KM, Hramiak IM, Sharma AM, Ur E. 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children [summary]. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*. 2007;176(8):S1-13.
26. Utter AC, Robertson RJ, Nieman DC, Kang J. Children's OMNI Scale of Perceived Exertion: walking/running evaluation. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(1):139-44.

27. Centre NAR. NASA Task Load Index CA. Available from: http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/TLX_pappen_manual.pdf.
28. Hill AJ, Blundell JE. The effects of a high-protein or high-carbohydrate meal on subjective motivation to eat and food preferences. *Nutritional Behavior*. 1986;3:489-95.
29. Williams M. Cognitive Behavior Rating Scale. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources; 1991.
31. Loonstra AS, Tarlow AR, Sellers AH. COWAT metanorms across age, education, and gender. *Applied neuropsychology*. 2001;8(3):161-6.
31. Brandt J, Benedict R. Hopkins Verbal Learning Test–Revised Professional Manual. Odessa, FL.: Psychological Assessment Resources Inc.; 2001.
32. Benedict R. Brief Visuospatial Memory Test-Revised. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, Inc.; 1997.
33. D'Elia LF, Snatz P, Uchiyama GL, White T. Color Trails Test. Odessa, FL.: Psychological Assessment Resources; 1996.
34. Naglieri JA. Naglieri Nonverbal Ability Test. San Antonio, TX: 1997.
35. Smith A. Symbol Digit Modalities Test Manuel (Revised). Los Angeles: 1982.
36. 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.
37. Santé Canada. Fichier canadien sur les éléments nutritifs. Gouvernement du Canada.
38. Peronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport*. 1991;16(1):23-9.
39. Maraki M, Tsofliou F, Pitsiladis YP, Malkova D, Mutrie N, Higgins S. Acute effects of a single exercise class on appetite, energy intake and mood. Is there a time of day effect? *Appetite*. 2005;45(3):272-8.
40. King NA, Burley VJ, Blundell JE. Exercise-induced suppression of appetite: effects on food intake and implications for energy balance. *European journal of clinical nutrition*. 1994;48(10):715-24.
41. Mattes R. Hunger ratings are not a valid proxy measure of reported food intake in humans. *Appetite*. 1990;15(2):103-13.

42. Doucet E, St-Pierre S, Almeras N, Tremblay A. Relation between appetite ratings before and after a standard meal and estimates of daily energy intake in obese and reduced obese individuals. *Appetite*. 2003;40(2):137-43.
43. King NA, Snell L, Smith RD, Blundell JE. Effects of short-term exercise on appetite responses in unrestrained females. *European journal of clinical nutrition*. 1996;50(10):663-7.
44. Kissileff HR, Pi-Sunyer FX, Segal K, Meltzer S, Foelsch PA. Acute effects of exercise on food intake in obese and nonobese women. *The American journal of clinical nutrition*. 1990;52(2):240-5.
45. George VA, Morganstein A. Effect of moderate intensity exercise on acute energy intake in normal and overweight females. *Appetite*. 2003;40(1):43-6.
46. Wardle J, Steptoe A, Oliver G, Lipsey Z. Stress, dietary restraint and food intake. *Journal of psychosomatic research*. 2000;48(2):195-202.
47. Benedict FG, Benedict CG. The Energy Requirements of Intense Mental Effort. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1930;16(6):438-43.
48. Pomerleau M, Imbeault P, Parker T, Doucet E. Effects of exercise intensity on food intake and appetite in women. *The American journal of clinical nutrition*. 2004;80(5):1230-6.

Table 1. Descriptive data of the sample.

	Mean	SD	Minimum	Maximum
Age (y)	17.5	2.1	15.0	20.0
Resting heart rate (bpm)	65	10	42	76
Systolic blood pressure (mm Hg)	108	11	88	127
Diastolic blood pressure (mm Hg)	67	7	57	79
Weight (kg)	65.6	7.9	53.0	81.3
Height (m)	1.79	0.10	1.66	1.98
Waist circumference (cm)	75.0	4.0	68.0	81.0
Total body fat (%)	12.6	5.1	2.9	18.9
VO ₂ peak (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	48.7	5.5	38.8	58.8

Table 2. Changes observed between relaxation and KBW during the NO_{pause} visit.

NO_{pause} visit		
	<i>Relaxation</i>	<i>KBW</i>
NASA-TLX score	2.78 (1.49)	5.94 (1.74)*
Δ STAI-C score	-3.17 (5.29)	1.17 (2.29)*
SBP (mm Hg)	105.03 (10.57)	111.76 (14.51)
DBP (mm Hg)	64.30 (8.18)	71.70 (15.88)
Mean glycemia (mmol/L)	5.3 (0.37)	4.86 (0.42)*
Absolute change in glycemia (mmol/L)	1.04 (0.39)	0.91 (0.67)

Mean values (SD); *: p≤0.05

NO_{pause} visit	10h00-10h14	10h15-10h45 Relaxation	10h46-10h59	11h00-11h45 KBW	11h46-11h59	12h00-12h30 Buffet	12h31 - +
	-STAI-C -VAS -BP -Glycemia	-EE measure -BP -Glycemia	-STAI-C -VAS -NASA-TLX -BP -Glycemia	-EE measure -BP -Glycemia	-STAI-C -VAS -NASA-TLX		-STAI-C -VAS
REL_{pause} visit	10h00-10h14	10h15-11h00 KBW	10h46-10h59	11h15-11h45 Relaxation	11h46-11h59	12h00-12h30 Buffet	12h31 - +
	-STAI-C -VAS -BP -Glycemia	-EE measure -BP -Glycemia	-STAI-C -VAS -NASA-TLX -BP -Glycemia	-EE measure -BP -Glycemia	-STAI-C -VAS -NASA-TLX		-STAI-C -VAS
PA_{pause} visit	10h00-10h14	10h15-11h00 KBW	10h46-10h59	11h15-11h45 Physical activity	11h46-11h59	12h00-12h30 Buffet	12h31 - +
	-STAI-C -VAS -BP -Glycemia	-EE measure -BP -Glycemia	-STAI-C -VAS -NASA-TLX -BP -Glycemia	-EE measure -Glycemia	-STAI-C -VAS -NASA-TLX		-STAI-C -VAS

Figure 1. Sequence of NO_{pause}, REL_{pause} and PA_{pause} visits.

(BP: blood pressure; EE: energy expenditure; NASA-TLX: NASA Task Load Index; STAI-C: State and Trait Anxiety Inventory for Children; VAS: visual analog scales)

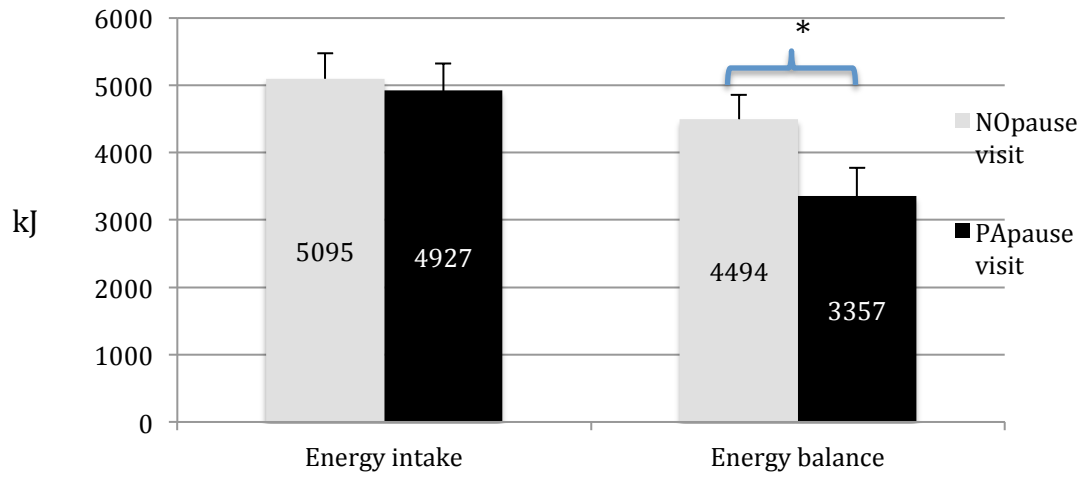


Figure 2. Energy intake and balance for NO_{pause} and PA_{pause} visits.

Values are the mean (standard error); *: $p \leq 0.05$.

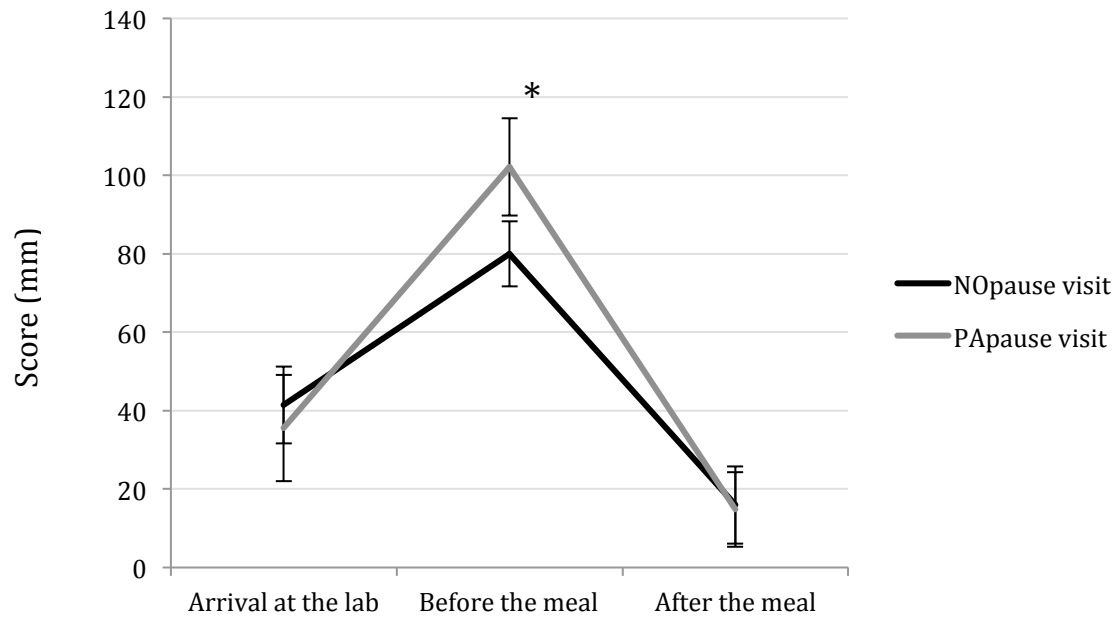


Figure 3. Desire to eat scores on visual analog scales at different moment during the day. Values are the mean (standard error); * $p \leq 0.05$.

Visual analog scale length: 0-150 mm.

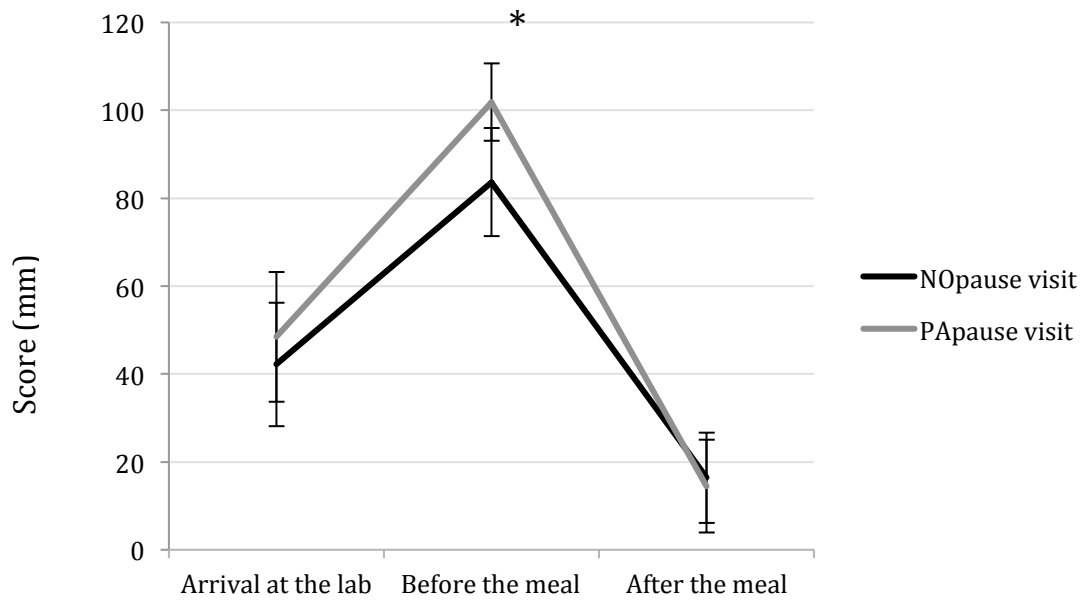


Figure 4. Hunger scores on visual analog scales at different moment during the day.

Values are the mean (standard error); * $p \leq 0.05$.

Visual analog scale length: 0-150 mm.

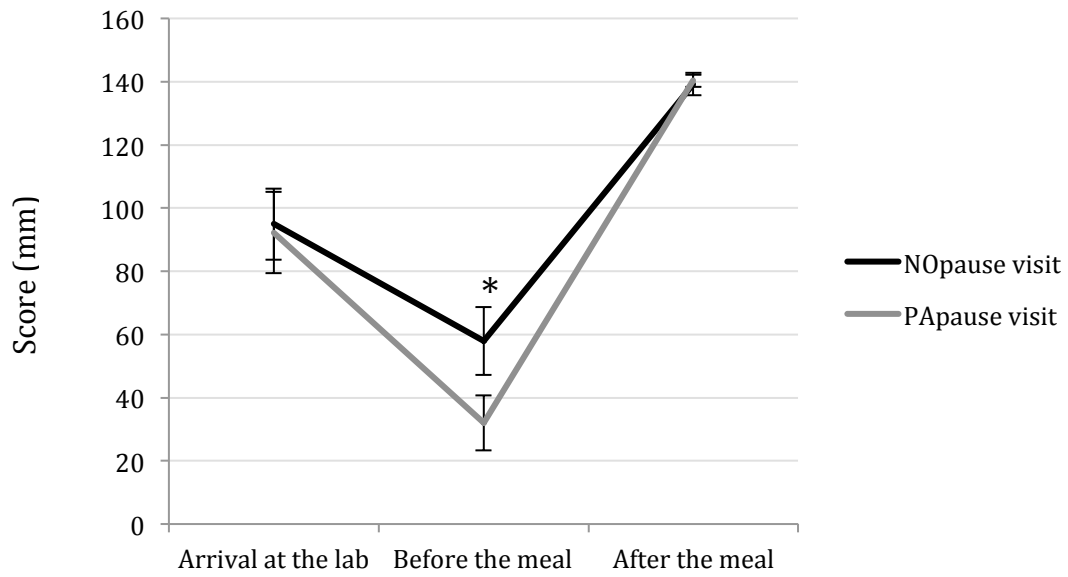


Figure 5. Fullness scores on visual analog scales at different moment during the day.

Values are the mean (standard error); * $p \leq 0.05$.

Visual analog scale lenght: 0-150 mm.

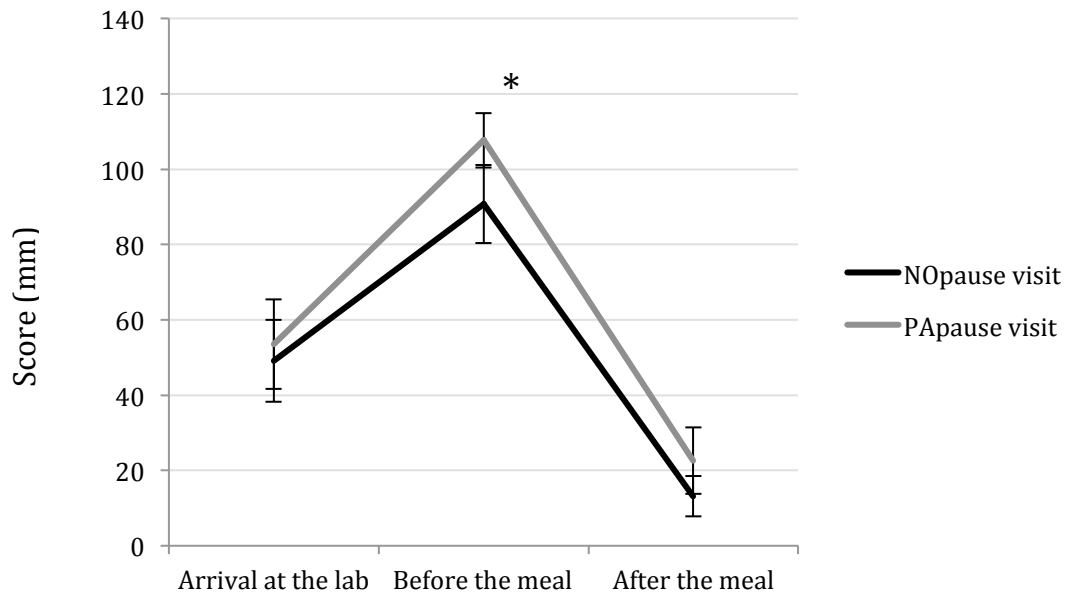


Figure 6. Anticipated food consumption score on visual analog scales at different moment during the day.

Values are the mean (standard error); *: $p \leq 0.05$.

Visual analog scale length: 0-150 mm.

Discussion

Dans un contexte où l'obésité est devenue une problématique prépondérante autant chez les adultes que chez les enfants, et ce, à travers le monde (1), des stratégies multiples doivent être développées pour agir sur les causes tout aussi multiples de ce désordre métabolique. Les impacts sur la santé d'une surcharge pondérale vont bien plus loin qu'un souci esthétique. Des conséquences importantes sur le système cardiovasculaire, sur la régulation métabolique et endocrine ainsi que sur la santé psychosociale sont dénotées, pour n'en nommer que quelques-unes (1, 7, 13). De nombreux travaux rapportent une espérance de vie réduite chez les personnes obèses, en plus de la qualité de vie qui risque d'être amoindrie par une forte morbidité (10-12). La problématique de l'obésité chez les enfants est d'autant plus inquiétante puisqu'un enfant obèse est un individu plus à risque de devenir un adulte obèse (28, 29).

Traditionnellement, l'obésité est expliquée par un déséquilibre entre la dépense et l'apport énergétique. Une augmentation de la pratique d'activités sédentaires, une réduction de celle d'activités physiques ainsi qu'une mauvaise alimentation sont les facteurs qui sont d'abord évoqués pour expliquer une balance énergétique positive. Les travaux des dernières années s'intéressant au développement de l'obésité ont permis de relever de nouveaux facteurs autrefois insoupçonnés (57). Parmi ceux-ci, le travail mental semble influencer l'ingestion calorique de manière significative (62-65).

A) Justification du projet

Les changements qui se sont opérés au cours des dernières décennies dans le type d'occupation principale font en sorte que beaucoup d'adultes sont confrontés quotidiennement au travail mental. De leur côté, les enfants le sont également à l'école, ainsi qu'au retour à la maison avec les devoirs. Évidemment, on ne peut résoudre le problème à la source en éliminant ou en réduisant la charge de travail intellectuel à laquelle sont confrontés adultes et enfants quotidiennement sans nuire aux apprentissages et aux performances. Il semble donc pertinent de s'attarder à ce facteur et voir comment son impact sur l'ingestion calorique pourrait être amoindri et comment la balance énergétique pourrait être rééquilibrée. Aucune autre stratégie pour contrer l'effet hyperphagiant du travail mental n'avait été proposée à ce jour. Étant donné qu'il a été précédemment suggéré que l'activité physique puisse influencer les sensations de faim et/ou l'ingestion calorique à la baisse (92, 98, 99), l'hypothèse qui avait été émise est qu'en introduisant une pause d'activité physique entre la réalisation de tests mentaux et la présentation d'un buffet, on pourrait réduire l'apport calorique lors de ce repas. Cette étude est la première à proposer une piste de solution et de la mettre en application en laboratoire.

B) Rappel des résultats

Considérant la dépense énergétique associée à la pratique d'une activité physique, un bilan calorique inférieur a été observé pour la visite avec pause active. L'introduction d'une période d'activité physique entre un travail mental et un repas n'a toutefois pas permis de réduire l'ingestion calorique. L'apport énergétique est cependant demeurée équivalente malgré que les

sujets aient mentionné avoir plus faim et que leur consommation anticipée de nourriture était plus grande.

Une consommation calorique correspondant à 19 à 21 kJ par minute de travail mental a été observée dans les études de Chaput *et al.* (62, 63) portant sur l'effet hyperphagiant du travail mental. Cette consommation énergétique accrue peut s'avérer problématique dans un contexte où l'on cherche à créer une balance énergétique négative pour favoriser un maintien/perte de poids puisque la dépense énergétique associée au travail mental ne justifie pas une consommation alimentaire plus importante (71). Les résultats de la présente étude démontrent qu'une période d'activité physique de 30 minutes à une intensité modérée (70% FC_{max}), induisant une dépense calorique équivalente à 40 kJ/min, est ainsi largement suffisante pour compenser pour les kilojoules en extra ingérés suite au travail mental. Par ailleurs, l'introduction d'une pause passive (relaxation) n'a toutefois pas permis de modifier l'ingestion calorique et d'induire une dépense calorique assez importante. Cette stratégie n'a donc pas eu d'effet sur le bilan calorique en comparaison avec la condition contrôle (visite NO_{pause}). Ceci souligne l'importance de la période d'activité physique, puisque le simple fait d'attendre suite à un travail mental ne suffit pas. Il convient de mentionner que les participants qui ont pris part au présent projet avaient une $\dot{V}O_2$ de pointe moyenne de 48,7 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Une bonne aptitude aérobie, telle que celle des participants au projet, permet la réalisation d'une activité physique à une intensité absolue plus élevée, optimisant ainsi la dépense énergétique. Une aptitude aérobie plus faible n'aurait pas permis d'atteindre une intensité d'entraînement amenant une dépense énergétique aussi importante.

Au niveau de l'ingestion calorique, aucune différence significative n'a toutefois été notée entre la visite comprenant une pause active (4927 ± 1351 kJ) et celle ne comprenant pas de pause (5095 ± 1305 kJ). Il est intéressant cependant de noter que les participants ont mentionné être davantage affamés suite à une période d'activité physique et pensaient manger davantage. Cette dissociation entre ingestion et perception est intéressante puisqu'elle est à l'opposée de celle du travail mental où est observé une augmentation de l'ingestion calorique, malgré une absence de la faim (63, 65).

Afin de documenter le niveau d'anxiété aiguë des sujets ainsi que leur perception de l'exigence globale de la tâche, les questionnaires STAI-C et NASA-TLX ont été complétés par les sujets à divers moments au cours des visites. Les résultats démontrent que les sujets ont trouvé la réalisation des tests choisis significativement plus stressante qu'une période de repos. L'effet hyperphagiant du travail mental en soi ne peut être dissocié de celui du stress associé au travail mental. En ce sens, Rutters *et al.* (65) ont démontré que ce n'était pas que le travail mental en soi qui occasionnait une ingestion calorique plus importante, mais bien le travail mental stressant. Tel que démontré à la Figure 5, la différence dans l'ingestion calorique suite à une tâche de travail mentale stressante et une autre non stressante était fonction du score d'anxiété aiguë des sujets. Comme nos sujets ont considéré les tests comme étant stressants, on aurait pu s'attendre à une ingestion calorique plus grande lors du repas.

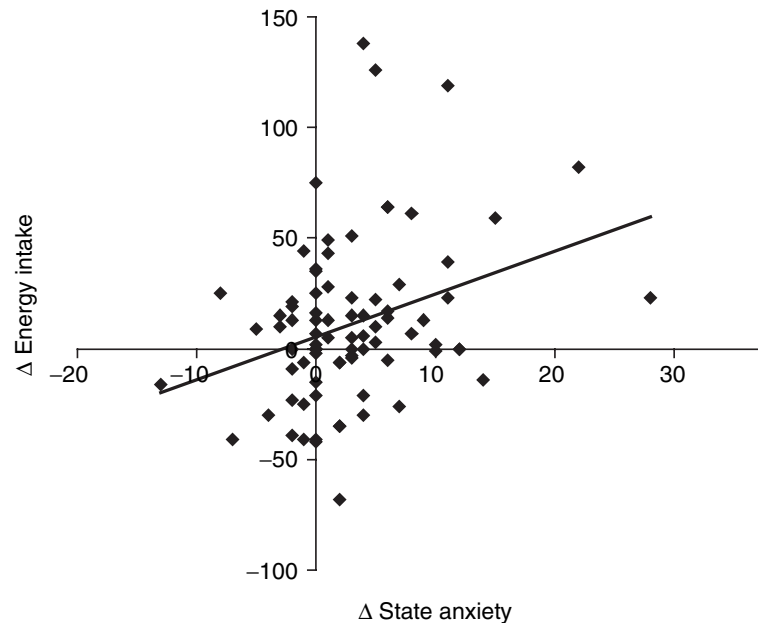


Figure 5: Différences dans l'apport énergétique (kJ) entre la condition de stress et la condition contrôlée (Δ apport énergétique) en fonction de la différence de score d'anxiété aigu avant et après la tâche stressante (Δ score anxiété aigu). $R=0,05$, $P<0,01$.

C) Applications cliniques

La mise en application en milieu scolaire de la stratégie d'activité physique pour contrer l'effet hyperphagiant du travail mental pourrait se faire de manière assez réaliste. Pour mettre en place la structure de cette étude, il suffirait d'inverser la période de récréation du midi avec celle du repas et de possiblement structurer des activités sportives pendant la récréation. Il est certain que la plupart du temps, les enfants ont un lunch à manger et ne sont pas exposés à un buffet à volonté. Les résultats obtenus en laboratoire, avec conditions expérimentales contrôlées, sont possiblement à différencier de ceux obtenus en contexte naturel. D'ailleurs, la plupart des travaux portant sur l'effet hyperphagiant du travail mental se sont déroulés en

laboratoire et les mêmes questions en milieu naturel mériteraient d'être étudiées. Les données de McCann *et al.* (64) suggèrent toutefois que le travail mental stressant est aussi associé à une augmentation de l'ingestion calorique en contexte naturel. Ceci suggère donc que ce qui est observé en laboratoire se reflèterait dans la vraie vie.

D) Limites

Une des limitations de ce projet est que le devis d'étude ne présentait pas de situation contrôle où l'ingestion calorique aurait été comparée suite à une période de repos vs de travail mental. Se basant sur la littérature existante, nous avons assumé que l'effet hyperphagiant du travail mental serait également présent auprès de notre échantillon. L'implication des participants avec le devis actuel était déjà relativement grande, étant donné qu'il devait se présenter à quatre reprises au laboratoire, dont trois pour des avant-midis complets. Rajouter une cinquième visite aurait possiblement rendu le recrutement et la compliance des participants dans l'étude plus difficiles. Nous avons cependant mesuré le niveau d'anxiété des sujets ainsi que leur perception globale de la tâche pour s'assurer de reproduire des situations de travail mental stressantes.

L'échantillon était restreint à des participants masculins et sans surcharge pondérale. Certaines données indiquent la réponse alimentaire suite à la pratique d'activité physique semble varier selon, entre autres, le genre et le statut pondéral. Dans une étude de King *et al.* (91), des femmes de poids santé, non restreintes en ce qui concerne l'alimentation, rapportaient,

contrairement aux hommes, une palatabilité plus importante aux aliments suite à une période d'activité physique et ne démontraient pas une diminution transitoire de la faim suite à l'effort (anorexie post-exercice). Néanmoins, chez des femmes restreintes alimentaires et avec un poids santé et chez des femmes obèses, l'effet anorexigène de l'activité physique a été observé (100, 101). Par ailleurs, il semble que les individus obèses ne répondraient pas comme ceux de poids santé à l'intensité de l'effort. Alors que chez de sujets de poids santé, l'ingestion calorique suite à un effort d'intensité élevée était réduite, celle chez les sujets obèses ne l'était pas (102). De même, George *et al.* (103) ont observé que les femmes de poids santé ingéraient en moyenne 214 kJ de moins suite à un effort physique, alors que les femmes en surpoids en ingéraient 344 kJ de plus. Ces résultats sont toutefois contradictoires avec ceux de Durrant *et al.* (104) : pendant trois jours consécutifs, les participants devaient effectuer 60 minutes de vélo. L'ingestion calorique était réduite de 76 kJ/jour chez les sujets obèses, alors qu'elle était augmentée de 651 kJ chez les sujets de poids santé. Les résultats obtenus ici avec un échantillon d'adolescents masculins sans surcharge pondérale ne sont donc pas généralisables à l'ensemble de la population, particulièrement aux femmes et aux individus en surplus de poids.

E) Avenues de recherche

Peu de données sont disponibles concernant une réponse possiblement différenciée des hommes et des femmes par rapport à l'effet hyperphagiant du travail mental. Rutters *et al.* (65) n'ont pas observé de différences de genre dans les sensations d'appétit ni dans l'ingestion calorique suite au travail mental. Dans les autres portant sur la thématique (62, 63), soit seules des femmes ont été évaluées ou le genre n'était pas comparé (76). L'étude longitudinale de

Lalluka (69) suggère que les hommes seraient plus sujets au gain de poids que les femmes s'ils sont exposés à une charge mentale plus importante dans leur travail. L'impact du genre sur l'ingestion calorique suite au travail mental reste encore à investiguer. Par ailleurs, aucune étude n'a porté à ce jour sur l'effet hyperphagiant du travail mental chez des individus en surplus de poids et cette question mériterait d'être étudiée. Tel que discuté précédemment, la réponse alimentaire suite à la pratique d'activité physique semble varier selon, entre autres, le genre et le statut pondéral. La réalisation d'un projet similaire avec un échantillon comprenant à la fois des garçons et des filles, avec et sans surcharge pondérale serait donc une avenue de recherche intéressante.

Dans le cadre de ce projet, une période d'activité physique de 30 minutes à intensité moyenne avait été choisie, afin de créer en laboratoire une pause qui pourrait être accomplie de manière réaliste en contexte de vie. Le choix de la marche rapide ou course se voulait aussi afin de faciliter l'accessibilité de l'exercice. Une intensité plus importante de l'activité physique aurait peut-être permis d'influencer différemment les sensations de faim et l'ingestion calorique subséquente. À cet effet, Imbeault *et al.* (88) ont comparé chez des sujets masculins l'ingestion calorique suite à deux séances distinctes d'activité physique : une à 35% du VO_{2max} et l'autre à 75% du VO_{2max} . La durée des deux séances était ajustée afin que la dépense énergétique soit la même, peu importe l'intensité de l'exercice. La faim et la sensation d'être rempli après l'exercice étaient comparables dans les deux conditions d'activité physique. Les données indiquent néanmoins que l'exercice à haute intensité induit une réduction plus importante de l'ingestion calorique que l'exercice à basse intensité. Il apparaîtrait donc intéressant que de futurs travaux s'intéressent à déterminer une intensité optimale à la période d'activité physique

afin de 1) optimiser la dépense énergétique et 2) induire un effet anorexigène et réduire l'ingestion calorique subséquente.

Par ailleurs, les résultats de la présente étude soulignent que la création d'un bilan calorique inférieur lors de la visite avec pause active s'explique par une dépense énergétique accrue due à la période d'activité physique et non par une action sur l'ingestion calorique. Ces résultats ne supportent donc pas l'idée que l'activité physique doit absolument être positionnée entre le travail mental et un repas pour favoriser le maintien de la balance énergétique. Ainsi, de futurs travaux pourraient porter sur le positionnement optimal de l'activité physique au courant de la journée.

F) Contribution personnelle au projet

La réalisation de ce projet m'a permis de me familiariser avec toutes les étapes de réalisation d'un projet de recherche, puisque j'ai travaillé sur chacune d'entre elles. J'ai d'abord été largement impliquée dans la rédaction de la demande éthique auprès du CHU Sainte-Justine, puis de l'Université de Montréal. J'ai par la suite effectué le recrutement des participants et effectué l'organisation de l'horaire des rendez-vous. L'évaluation des participants a été faite par moi, tout comme l'entrée de données. Les analyses statistiques, l'interprétation des résultats et la rédaction de l'article ont aussi été réalisées par moi, sous la supervision de ma directrice de recherche.

G) Conclusion

En conclusion, une période de 30 minutes d'activité physique, positionnée entre un travail mental et un repas, a permis de compenser pour l'ingestion calorique accrue associée au travail mental. Toutefois, malgré que les sujets aient mentionné avoir plus faim suite à la période d'activité physique, aucune différence n'a été notée au niveau de l'ingestion calorique. Ces résultats supportent l'introduction d'une pause active entre un travail mental et un repas pour aider au maintien de la balance énergétique via une dépense énergétique accrue. La stratégie proposée dans le présent projet s'insère parmi un ensemble d'autres stratégies de prévention primaire et secondaire favorisant le maintien d'un poids corporel sain.

Références bibliographiques

1. OMS. Obésité: prévention et prise en charge de l'épidémie mondiale [Internet]. Genève, 2003 [cited 2012 Jul 05]. Available from: http://whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_894_fre.pdf.
2. OMS. Obésité et surpoids. 2012 [cited 2012 Jul 09]. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/fr/index.html>.
3. Shields M, Tremblay MS, Laviolette M, Craig CL, Janssen I, Gorber SC. Fitness of Canadian adults: results from the 2007-2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep.* 2010;21(1):21-35.
4. Shields M. Overweight and obesity among children and youth. *Health Rep.* 2006;17(3):27-42.
5. Kuczmariski RJ, Ogden CL, Guo SS, Grummer-Strawn LM, Flegal KM, Mei Z, et al. 2000 CDC Growth Charts for the United States: methods and development. *Vital and health statistics Series 11, Data from the national health survey.* 2002(246):1-190.
6. Lau DC, Douketis JD, Morrison KM, Hramiak IM, Sharma AM, Ur E. 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children [summary]. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne.* 2007;176(8):S1-13.
7. Haslam DW, James WP. Obesity. *Lancet.* 2005;366(9492):1197-209. Epub 2005/10/04. doi: 10.1016/S0140-6736(05)67483-1.
8. Katzmarzyk PT, Janssen I, Ardern CI. Physical inactivity, excess adiposity and premature mortality. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity.* 2003;4(4):257-90.
9. Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Vander Hoorn S, Murray CJ. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *Lancet.* 2002;360(9343):1347-60.
10. Peeters A, Barendregt JJ, Willekens F, Mackenbach JP, Al Mamun A, Bonneux L. Obesity in adulthood and its consequences for life expectancy: a life-table analysis. *Annals of internal medicine.* 2003;138(1):24-32.
11. Manson JE, Willet WC, Stampfer MJ, Colditz GA, Hunter DJ, Hankinson SE, et al. Body weight and mortality among women. *New England Journal of Medicine.* 1995;333(11):677-85.

12. Adams KF, Schatzkin A, Harris TB, Kipnis V, Mouw T, Ballard-Barbash R, et al. Overweight, obesity, and mortality in a large prospective cohort of persons 50 to 71 years old. *N Engl J Med.* 2006;355(8):763-78.
13. Han JC, Lawlor DA, Kimm SY. Childhood obesity. *Lancet.* 2010;375(9727):1737-48.
14. Willett WC, Stampfer M, Manson J, VanItallie T. New weight guidelines for Americans: justified or injudicious? *The American journal of clinical nutrition.* 1991;53(5):1102-3.
15. Hubert HB, Feinleib M, McNamara PM, Castelli WP. Obesity as an independent risk factor for cardiovascular disease: a 26-year follow-up of participants in the Framingham Heart Study. *Circulation.* 1983;67(5):968-77.
16. Wolf HK, Tuomilehto J, Kuulasmaa K, Domarkiene S, Cepaitis Z, Molarius A, et al. Blood pressure levels in the 41 populations of the WHO MONICA Project. *Journal of human hypertension.* 1997;11(11):733-42.
17. Cassano PA, Segal MR, Vokonas PS, Weiss ST. Body fat distribution, blood pressure, and hypertension. A prospective cohort study of men in the normative aging study. *Annals of epidemiology.* 1990;1(1):33-48.
18. MacMahon S, Peto R, Cutler J, Collins R, Sorlie P, Neaton J, et al. Blood pressure, stroke, and coronary heart disease. Part 1, Prolonged differences in blood pressure: prospective observational studies corrected for the regression dilution bias. *Lancet.* 1990;335(8692):765-74.
19. Modan M, Karasik A, Halkin H, Fuchs Z, Lusky A, Shitrit A, et al. Effect of past and concurrent body mass index on prevalence of glucose intolerance and type 2 (non-insulin-dependent) diabetes and on insulin response. *The Israel study of glucose intolerance, obesity and hypertension. Diabetologia.* 1986;29(2):82-9.
20. Ohlson LO, Larsson B, Svardsudd K, Welin L, Eriksson H, Wilhelmsen L, et al. The influence of body fat distribution on the incidence of diabetes mellitus. 13.5 years of follow-up of the participants in the study of men born in 1913. *Diabetes.* 1985;34(10):1055-8.
21. Chan JM, Rimm EB, Colditz GA, Stampfer MJ, Willett WC. Obesity, fat distribution, and weight gain as risk factors for clinical diabetes in men. *Diabetes care.* 1994;17(9):961-9.
22. McKeigue PM, Pierpoint T, Ferrie JE, Marmot MG. Relationship of glucose intolerance and hyperinsulinaemia to body fat pattern in south Asians and Europeans. *Diabetologia.* 1992;35(8):785-91.
23. Hartz AJ, Rupley DC, Jr., Kalkhoff RD, Rimm AA. Relationship of obesity to diabetes: influence of obesity level and body fat distribution. *Preventive medicine.* 1983;12(2):351-7.
24. Skarfors ET, Selinus KI, Lithell HO. Risk factors for developing non-insulin dependent diabetes: a 10 year follow up of men in Uppsala. *BMJ.* 1991;303(6805):755-60.

25. Charles MA, Fontbonne A, Thibault N, Warnet JM, Rosselin GE, Eschwege E. Risk factors for NIDDM in white population. Paris prospective study. *Diabetes*. 1991;40(7):796-9.
26. Colditz GA, Willett WC, Stampfer MJ, Manson JE, Hennekens CH, Arky RA, et al. Weight as a risk factor for clinical diabetes in women. *American journal of epidemiology*. 1990;132(3):501-13.
27. Stevens J, Couper D, Pankow J, al. e. Sensivity and Specificity of anthropometrics for the prediction of diabetes in a biracial cohort. *Obesity Research*. 2001;9:696-705.
28. Abraham S, Collins G, Nordsieck M. Relationship of childhood weight status to morbidity in adults. *HSMHA health reports*. 1971;86(3):273-84.
29. Guo SS, Roche AF, Chumlea WC, Gardner JD, Siervogel RM. The predictive value of childhood body mass index values for overweight at age 35 y. *The American journal of clinical nutrition*. 1994;59(4):810-9.
30. Must A, Jacques PF, Dallal GE, Bajema CJ, Dietz WH. Long-term morbidity and mortality of overweight adolescents. A follow-up of the Harvard Growth Study of 1922 to 1935. *N Engl J Med*. 1992;327(19):1350-5.
31. Lauer RM, Connor WE, Leaverton PE, Reiter MA, Clarke WR. Coronary heart disease risk factors in school children: the Muscatine study. *The Journal of pediatrics*. 1975;86(5):697-706.
32. Steinberger J, Moorehead C, Katch V, Rocchini AP. Relationship between insulin resistance and abnormal lipid profile in obese adolescents. *The Journal of pediatrics*. 1995;126(5 Pt 1):690-5.
33. Lambert M, Delvin EE, Levy E, O'Loughlin J, Paradis G, Barnett T, et al. Prevalence of cardiometabolic risk factors by weight status in a population-based sample of Quebec children and adolescents. *Can J Cardiol*. 2008;24(7):575-83. Epub 2008/07/10.
34. Tounian P, Aggoun Y, Dubern B, Varille V, Guy-Grand B, Sidi D, et al. Presence of increased stiffness of the common carotid artery and endothelial dysfunction in severely obese children: a prospective study. *Lancet*. 2001;358(9291):1400-4.
35. Starky S. L'épidémie d'obésité au Canada. In: *l'économie Dd*, editor.: Bibliothèque du parlement; 2005.
36. Ludwig DS, Nestle M. Can the food industry play a constructive role in the obesity epidemic? *JAMA : the journal of the American Medical Association*. 2008;300(15):1808-11.
37. Wells JC. Obesity as malnutrition: the role of capitalism in the obesity global epidemic. *American journal of human biology : the official journal of the Human Biology Council*. 2012;24(3):261-76.

38. Maffei C. Aetiology of overweight and obesity in children and adolescents. *European journal of pediatrics*. 2000;159 Suppl 1:S35-44.
39. Tremblay MS, Colley RC, Saunders TJ, Healy GN, Owen N. Physiological and health implications of a sedentary lifestyle. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2010;35(6):725-40.
40. Matthews CE, Chen KY, Freedson PS, Buchowski MS, Beech BM, Pate RR, et al. Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003-2004. *American journal of epidemiology*. 2008;167(7):875-81.
41. Shields M, Tremblay MS. Comportements sédentaires et obésité. *Statistiques Canada*; 2008.
42. Dietz WH, Jr., Gortmaker SL. Do we fatten our children at the television set? Obesity and television viewing in children and adolescents. *Pediatrics*. 1985;75(5):807-12.
43. Boulos R, Vikre EK, Oppenheimer S, Chang H, Kanarek RB. ObesiTV: How television is influencing the obesity epidemic. *Physiol Behav*. 2012;107(1):146-53.
44. Boone JE, Gordon-Larsen P, Adair LS, Popkin BM. Screen time and physical activity during adolescence: longitudinal effects on obesity in young adulthood. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*. 2007;4:26.
45. Hancox RJ, Milne BJ, Poulton R. Association between child and adolescent television viewing and adult health: a longitudinal birth cohort study. *Lancet*. 2004;364(9430):257-62.
46. Parsons TJ, Manor O, Power C. Television viewing and obesity: a prospective study in the 1958 British birth cohort. *European journal of clinical nutrition*. 2008;62(12):1355-63.
47. DuRant RH, Baranowski T, Johnson M, Thompson WO. The relationship among television watching, physical activity, and body composition of young children. *Pediatrics*. 1994;449-55.
48. Hands BP, Chivers PT, Parker HE, Beilin L, Kendall G, Larkin D. The associations between physical activity, screen time and weight from 6 to 14 yrs: the Raine Study. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2011;14(5):397-403.
49. Robinson TN. Television viewing and childhood obesity. *Pediatric clinics of North America*. 2001;48(4):1017-25.
50. SCPE. Directives canadiennes en matière de comportement sédentaire [cited 2012 May 17]. Available from: http://www.scpe.ca/CMFiles/directives/SBGuidelines_0-17_fr.pdf.
51. Robinson TN. Reducing children's television viewing to prevent obesity: a randomized controlled trial. *JAMA : the journal of the American Medical Association*. 1999;282(16):1561-7.

52. Epstein LH, Paluch RA, Gordy CC, Dorn J. Decreasing sedentary behaviors in treating pediatric obesity. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*. 2000;154(3):220-6.
53. Gortmaker SL, Peterson K, Wiecha J, Sobol AM, Dixit S, Fox MK, et al. Reducing obesity via a school-based interdisciplinary intervention among youth: Planet Health. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*. 1999;153(4):409-18.
54. SCPE. Directives canadiennes en matière d'activité physique et en matière de comportement sédentaire [cited 2012 May 17]. Available from: http://www.csep.ca/CMFiles/Guidelines/PAGuidelines_0-65plus_fr.pdf.
55. Colley RC, Garriguet D, Janssen I, Craig CL, Clarke J, Tremblay MS. Activité physique des enfants et des jeunes au Canada: résultats d'accélérométrie de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé de 2007-2009. *Statistiques Canada*; 2011.
56. Colley RC, Garriguet D, Janssen I, Craig CL, Clarke J, Tremblay MS. Activité physique des adultes au Canada: résultats d'accélérométrie de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé de 2007-2009. *Statistiques Canada*; 2011.
57. Tremblay A, Chaput JP. About unsuspected potential determinants of obesity. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme*. 2008;33(4):791-6.
58. Casals-Casas C, Desvergne B. Endocrine disruptors: from endocrine to metabolic disruption. *Annual review of physiology*. 2011;73:135-62.
59. Johnson F, Mavrogianni A, Ucci M, Vidal-Puig A, Wardle J. Could increased time spent in a thermal comfort zone contribute to population increases in obesity? *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2011;12(7):543-51.
60. Chaput JP, Tremblay A. Does short sleep duration favor abdominal adiposity in children? *International journal of pediatric obesity : IJPO : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2007;2(3):188-91.
61. Liu J, Zhang A, Li L. Sleep duration and overweight/obesity in children: Review and implications for pediatric nursing. *Journal for specialists in pediatric nursing : JSPN*. 2012;17(3):193-204.
62. Chaput JP, Drapeau V, Poirier P, Teasdale N, Tremblay A. Glycemic instability and spontaneous energy intake: association with knowledge-based work. *Psychosom Med*. 2008;70(7):797-804.
63. Chaput JP, Tremblay A. Acute effects of knowledge-based work on feeding behavior and energy intake. *Physiol Behav*. 2007;90(1):66-72.
64. McCann BS, Warnick GR, Knopp RH. Changes in plasma lipids and dietary intake accompanying shifts in perceived workload and stress. *Psychosom Med*. 1990;52(1):97-108.

65. Rutters F, Nieuwenhuizen AG, Lemmens SG, Born JM, Westerterp-Plantenga MS. Acute stress-related changes in eating in the absence of hunger. *Obesity (Silver Spring)*. 2009;17(1):72-7.
66. Wallis DJ, Hetherington MM. Stress and eating: the effects of ego-threat and cognitive demand on food intake in restrained and emotional eaters. *Appetite*. 2004;43(1):39-46.
67. Brownson RC, Boehmer TK, Luke DA. Declining rates of physical activity in the United States: what are the contributors? *Annual review of public health*. 2005;26:421-43.
68. Bockerman P, Johansson E, Jousilahti P, Uutela A. The physical strenuousness of work is slightly associated with an upward trend in the BMI. *Soc Sci Med*. 2008;66(6):1346-55.
69. Lallukka T, Sarlio-Lahtenkorva S, Kaila-Kangas L, Pitkaniemi J, Luukkonen R, Leino-Arjas P. Working conditions and weight gain: a 28-year follow-up study of industrial employees. *European journal of epidemiology*. 2008;23(4):303-10.
70. Sturm R. Childhood obesity - what we can learn from existing data on societal trends, part 1. *Preventing chronic disease*. 2005;2(1):A12.
71. Benedict FG, Benedict CG. The Energy Requirements of Intense Mental Effort. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1930;16(6):438-43.
72. Dallman MF, Pecoraro N, Akana SF, La Fleur SE, Gomez F, Houshyar H, et al. Chronic stress and obesity: a new view of "comfort food". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2003;100(20):11696-701.
73. Smith FJ, Campfield LA. Meal initiation occurs after experimental induction of transient declines in blood glucose. *The American journal of physiology*. 1993;265(6 Pt 2):R1423-9.
74. Melanson KJ, Westerterp-Plantenga MS, Saris WH, Smith FJ, Campfield LA. Blood glucose patterns and appetite in time-blinded humans: carbohydrate versus fat. *The American journal of physiology*. 1999;277(2 Pt 2):R337-45.
75. Davis JF, Choi DL, Benoit SC. Insulin, leptin and reward. *Trends in endocrinology and metabolism: TEM*. 2010;21(2):68-74.
76. Tremblay A, Therrien F. Physical activity and body functionality: implications for obesity prevention and treatment. *Can J Physiol Pharmacol*. 2006;84(2):149-56.
77. Chaput JP, Tremblay A. The glucostatic theory of appetite control and the risk of obesity and diabetes. *Int J Obes (Lond)*. 2009;33(1):46-53. Epub 2008/11/13.
78. Epel E, Lapidus R, McEwen B, Brownell K. Stress may add bite to appetite in women: a laboratory study of stress-induced cortisol and eating behavior. *Psychoneuroendocrinology*. 2001;26(1):37-49.

79. Gluck ME. Stress response and binge eating disorder. *Appetite*. 2006;46(1):26-30.
80. Dallman MF, Strack AM, Akana SF, Bradbury MJ, Hanson ES, Scribner KA, et al. Feast and famine: critical role of glucocorticoids with insulin in daily energy flow. *Frontiers in neuroendocrinology*. 1993;14(4):303-47.
81. Zakrzewska KE, Cusin I, Sainsbury A, Rohner-Jeanrenaud F, Jeanrenaud B. Glucocorticoids as counterregulatory hormones of leptin: toward an understanding of leptin resistance. *Diabetes*. 1997;46(4):717-9.
82. Zakrzewska KE, Cusin I, Stricker-Krongrad A, Boss O, Ricquier D, Jeanrenaud B, et al. Induction of obesity and hyperleptinemia by central glucocorticoid infusion in the rat. *Diabetes*. 1999;48(2):365-70.
83. LaForgia J, Withers RT, Gore CJ. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of sports sciences*. 2006;24(12):1247-64.
84. Bahr R, Sejersted OM. Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism: clinical and experimental*. 1991;40(8):836-41. Epub 1991/08/01.
85. Maraki M, Tsofliou F, Pitsiladis YP, Malkova D, Mutrie N, Higgins S. Acute effects of a single exercise class on appetite, energy intake and mood. Is there a time of day effect? *Appetite*. 2005;45(3):272-8.
86. Thompson DA, Wolfe LA, Eikelboom R. Acute effects of exercise intensity on appetite in young men. *Med Sci Sports Exerc*. 1988;20(3):222-7.
87. Harris CL, George VA. The impact of dietary restraint and moderate-intensity exercise on post-exercise energy intake in sedentary males. *Eating behaviors*. 2008;9(4):415-22.
88. Imbeault P, Saint-Pierre S, Almeras N, Tremblay A. Acute effects of exercise on energy intake and feeding behaviour. *Br J Nutr*. 1997;77(4):511-21.
89. Westerterp-Plantenga MS, Verwegen CR, Ijedema MJ, Wijckmans NE, Saris WH. Acute effects of exercise or sauna on appetite in obese and nonobese men. *Physiol Behav*. 1997;62(6):1345-54.
90. King NA, Lluch A, Stubbs RJ, Blundell JE. High dose exercise does not increase hunger or energy intake in free living males. *European journal of clinical nutrition*. 1997;51(7):478-83.
91. King NA, Snell L, Smith RD, Blundell JE. Effects of short-term exercise on appetite responses in unrestrained females. *European journal of clinical nutrition*. 1996;50(10):663-7.
92. King NA, Burley VJ, Blundell JE. Exercise-induced suppression of appetite: effects on food intake and implications for energy balance. *European journal of clinical nutrition*. 1994;48(10):715-24.

93. Broom DR, Stensel DJ, Bishop NC, Burns SF, Miyashita M. Exercise-induced suppression of acylated ghrelin in humans. *J Appl Physiol.* 2007;102(6):2165-71.
94. Martins C, Morgan L, Truby H. A review of the effects of exercise on appetite regulation: an obesity perspective. *Int J Obes (Lond).* 2008;32(9):1337-47.
95. Martins C, Morgan LM, Bloom SR, Robertson MD. Effects of exercise on gut peptides, energy intake and appetite. *The Journal of endocrinology.* 2007;193(2):251-8. Epub 2007/05/02. doi: 10.1677/JOE-06-0030. PubMed PMID: 17470516.
96. Verger P, Lanteaume MT, Louis-Sylvestre J. Free food choice after acute exercise in men. *Appetite.* 1994;22(2):159-64.
97. Flores MB, Fernandes MF, Ropelle ER, Faria MC, Ueno M, Velloso LA, et al. Exercise improves insulin and leptin sensitivity in hypothalamus of Wistar rats. *Diabetes.* 2006;55(9):2554-61.
98. King NA, Tremblay A, Blundell JE. Effects of exercise on appetite control: implications for energy balance. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(8):1076-89.
99. Martins C, Robertson MD, Morgan LM. Effects of exercise and restrained eating behaviour on appetite control. *Proc Nutr Soc.* 2008;67(1):28-41.
100. Lluch A, King NA, Blundell JE. Exercise in dietary restrained women: no effect on energy intake but change in hedonic ratings. *European journal of clinical nutrition.* 1998;52(4):300-7.
101. Tsofliou F, Pitsiladis YP, Malkova D, Wallace AM, Lean ME. Moderate physical activity permits acute coupling between serum leptin and appetite-satiety measures in obese women. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity.* 2003;27(11):1332-9.
102. Kissileff HR, Pi-Sunyer FX, Segal K, Meltzer S, Foelsch PA. Acute effects of exercise on food intake in obese and nonobese women. *The American journal of clinical nutrition.* 1990;52(2):240-5.
103. George VA, Morganstein A. Effect of moderate intensity exercise on acute energy intake in normal and overweight females. *Appetite.* 2003;40(1):43-6.
104. Durrant ML, Royston JP, Wloch RT. Effect of exercise on energy intake and eating patterns in lean and obese humans. *Physiol Behav.* 1982;29(3):449-54.

