# Optimiser les réponses physiologique et affective à l'exercice chez les personnes âgée et obèse

Anna Borowik

▶ **To cite this version:**

Anna Borowik. Optimiser les réponses physiologique et affective à l'exercice chez les personnes âgée et obèse. Santé publique et épidémiologie. Université Grenoble Alpes, 2017. Français. NNT : 2017GREAS051 . tel-01758186

**HAL Id: tel-01758186**
**https://theses.hal.science/tel-01758186**

Submitted on 4 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Communauté
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

# THÈSE

Pour obtenir le grade de
**DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE GRENOBLE ALPES**

Spécialité : **Mouvement et Comportement pour la Santé et l'Autonomie**
Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par
**Anna BOROWIK**

Thèse dirigée par
**Patrice FLORE,** MCF-HDR, Université Grenoble Alpes,
et **Damien TESSIER** MCF, Université Grenoble Alpes

préparée au sein du **Laboratoire Hypoxie Physiopathologie**
et **Laboratoire Sport et Environnement Social**
dans **l'Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement**

---

# Optimiser les réponses physiologique et affective à l'exercice chez les personnes âgée et obèse

---

Thèse soutenue publiquement le **22 Decembre 2017**,
devant le jury composé de :

**Mme Irène MARGARITIS**
Pr, ANSES (Présidente de jury)

**M. Jérémy COQUART**
MCF-HDR, Université de Rouen-Normandie (Rapporteur)

**M. Grégory NINOT**
Pr, Université de Montpellier (Rapporteur)

**M. Philippe SARRAZIN**
Pr, Université Grenoble Alpes (Membre de jury)

**M. Patrice FLORE**
MCF-HDR, Université Grenoble Alpes (Directeur de thèse)

**M. Damien TESSIER**
MCF, Université Grenoble Alpes (Directeur de thèse)

**Université Grenoble-Alpes**
Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement
UFR APS, Grenoble

**Hôpital Sud**
Unité Médicale Sports & Pathologies
UF Recherche Exercice & Santé
Grenoble

**Laboratoire Hypoxie Physiopathologie**
Inserm U1042
Grenoble

**Laboratoire Sport et Environnement Social**
Université Joseph Fourier
UFR APS
Grenoble

# RÉSUMÉ

L'activité physique (AP) induit des nombreux bénéfices sur la santé. Cependant, le niveau d'inactivité reste important : 42% des Français ne pratiquent aucune AP de loisir. Plusieurs facteurs déterminent l'engagement durable dans l'AP. Cette thèse a pour objectif d'évaluer certains des facteurs susceptibles d'améliorer cet engagement : modalité d'exercice, réponse affective à l'exercice, motivation pour l'AP, et d'optimiser les réponses physiologique et affective à l'exercice.

L'oxydation des lipides joue un rôle important dans la prévention et le traitement de certaines pathologies cardio-métaboliques. Des travaux récents montrent l'intérêt potentiel d'un programme d'exercice intermittent intense (EII) sur la diminution de la masse grasse. Nous avons tenté d'optimiser l'oxydation lipidique survenant au cours d'un exercice combiné (COMB : 10-min d'EII + 35-min d'exercice d'intensité modérée continu, EIMC) comparé à une séance d'EIMC prolongé. Ce protocole original induit une oxydation lipidique plus importante (1,5 fois) dans la phase de 35-min d'EIMC au cours de COMB que celle obtenue au cours d'un EIMC prolongé isocalorique. Cette étude montre l'intérêt de l'EII pour augmenter le métabolisme lipidique.

La modalité d'exercice ainsi que la réponse affective à l'exercice sont importants pour l'engagement durable dans l'AP. L'étape suivante de ce travail de thèse a consisté donc à évaluer la réponse affective aux différentes modalités d'exercice aigus (EIMC *vs* EII, avec pic d'intensité au début, au milieu et à la fin, avec ou sans soutien de l'autonomie) chez les individus en surpoids/obèses et chez la personne âgée. Ces populations ont été choisies car elles sont peu enclines à faire de l'AP régulière, alors qu'elle est importante pour eux. Les résultats de ces études montrent que la réponse affective diminue progressivement au cours de l'exercice dans toutes les conditions. Cependant, cette diminution est moins importante dans les conditions avec soutien de l'autonomie (chez la personne âgée et chez les sujets sains) indiquant l'importance de ce facteur. D'autre part, le moment auquel le pic d'intensité apparait détermine la réponse affective qui est plus négative quand la séance se termine avec l'exercice le plus intense.

Après avoir évalué les effets de l'exercice aigu sur la réponse affective à l'exercice chez la personne en surpoids/obèse, nous nous sommes intéressés aux effets de l'entraînement sur la condition physique, les variables cardio-métaboliques, la réponse affective et la motivation. Ainsi, la dernière partie de travail de recherche a consisté alors à examiner les effets à court et long termes de l'entrainement (exercice intermittent intense sans : EII, et avec soutien de l'autonomie : EII+SA *vs* EIMC et groupe contrôle). Les résultats montrent qu'après les deux modalités d'entrainement intermittent intense la condition physique était améliorée après 24 séances. Ce type d'exercice influence positivement la composition corporelle. Cependant, les indicateurs de santé cardio-métabolique n'ont pas été modifiés. L'EII induit un moindre niveau de difficulté perçu de l'effort quand il est combiné avec un soutien de l'autonomie.

Cette thèse montre que certaines modalités d'exercice (EII et/ou exercice qui se termine avec une intensité moins importante) ainsi que le soutien de l'autonomie favorisent une réponse affective positive qui pourrait influencer un engagement durable à l'AP. Ceci reste cependant à être démontré.

**Mots clés** : activité physique, exercice, obésité, vieillissement, risque cardio-métabolique, exercice intermittent intense, motivation à l'activité physique, réponse affective à l'exercice, adhésion à l'activité physique

# ABSTRACT

Regular physical activity (PA) induces many health benefits. However, the level of inactivity remains high: in France 42% of the population do not engage in any sport or leisure time PA. Many factors are responsible for the long-term involvement in PA. The main objective of this thesis was to evaluate some of those factors (exercise modality, affective response to exercise, PA motivation) and to optimize the physiological and affective responses to exercise.

Lipid oxidation plays an important role in the prevention and in the treatment of metabolic diseases. Recent studies show the effectiveness of high intensity intermittent exercise (HIIE) on body fat. In this study we sought to optimize the lipid oxidation during a combined exercise (COMB: 10-min HIIE + 35-min prolonged moderate intensity continuous exercise, MICE). The results of this innovative study shows that fat oxidation can be increased (1.5 times) during 35-min MICE of COMB compared to the same period of a prolonged MICE if it's performed after high intensity interval exercise (HIIE) *vs* an isocaloric MICE alone. This study shows the importance of HIIE to increase fat metabolism.

The type of exercise, as well as affective response to exercise are important in order to increase regular PA participation. In the next part of this thesis, we assessed the affective response to different exercise modalities (MICE *vs* HIIE, peak of intensity at the beginning, in the middle or at the end of exercise, exercise with or without autonomy support) in overweight/obese subjects and in older adults. These populations were chosen because of their low PA participation level despite of its importance for health. The results show the decrease of affective response in each type of exercise. However, this decrease was lower in all autonomy supportive conditions (in older adults and in healthy subjects) showing the importance of this factor. In addition, the peak intensity time influenced the affective response: more negative feelings were observed when the session ended with the peak of intensity.

After examining the effects of acute exercise sessions on affective response in overweight/obese subjects, we focused on the effects of exercise training on physical fitness, cardio metabolic health, affective response and motivation. Hence, in the last part of this thesis we examined the short and long-term effects of HIIE training *vs* MICE and control group. The main results showed the increase in physical fitness after two high intensity conditions. In addition, HIIE improved body composition. However, the cardio metabolic health variables remained unchanged after 24 sessions. In addition, HIIE induced a lower level of perceived exertion during exercise when it was combined with autonomy support.

The results of this thesis show that some of exercise modalities (HIIE and/or exercise that ends with lower intensity) and autonomy support promote more positive affective response and can potentially influence the long term PA engagement. But the latter needs to be demonstrated.

**Keywords**: physical activity, exercise, obesity, aging, cardiometabolic risk, high intensity interval exercise, physical activity motivation, affective response to exercise, physical activity adherence

# REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement toutes les personnes qui m'ont aidée pendant l'élaboration de ma thèse, car c'est grâce à leur aide que j'ai pu mener ce travail à son terme.

## *Merci (dziękuję),*

A mes directeurs de thèse *Monsieur Patrice Flore* et *Monsieur Damien Tessier* pour avoir accepté de diriger cette thèse et dont l'aide précieuse m'a été indispensable. Je voudrais également les remercier pour leur grande disponibilité, la confiance et les nombreux conseils précieux durant toutes ces années. En plus de leur appui scientifique, ils ont toujours été là pour me soutenir et me conseiller tout en me laissant une grande liberté. J'ai vraiment eu de la chance d'avoir non pas un mais deux directeurs de thèse qui sont les meilleurs !

Au *Docteur Jérémy Coquart* et au *Professeur Grégory Ninot* qui me font l'honneur d'être rapporteurs de ma thèse.

Au *Professeur Irène Margaritis* et au *Professeur Philippe Sarrazin* pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

Au Professeur *Jean-Louis Pépin* pour m'avoir accueillie au sein du laboratoire HP2.

Au *Docteur Stéphane Doutreleau* pour son accueil chaleureux au sein de l'Unité Sports & Pathologies, pour sa grande disponibilité, sa patience et son aide.

Au *Docteur Anne Favre-Juvin* pour toute la sympathie qu'elle m'a témoignée.

Au *Docteur Bernard Wuyam*, investigateur principal du protocole HYPINT, qui a toujours été prêt à m'aider, pour son calme et tous ses bons conseils.

Aux *médecins de l'Unité Sports & Pathologies* : *Docteur Anne-Catherine Bernard, Docteur Sébastien Bailleul et Docteur Michel Guinot,* pour leur incroyable disponibilité, patience et soutien. Je leur en suis extrêmement reconnaissante !

Au *Docteur François Estève* pour ses conseils précieux qui m'ont accompagnée tout au long de cette thèse et pour sa joie de vivre. Je voudrais le remercier pour sa bonne humeur qu'il a partagée avec moi quelques mercredis matins.

A toute *l'équipe technique de l'Unité Sports & Pathologies* (*Marie Jo, Cécile, Caro, Rachel, Rachel, Maud, Julien*) et *les secrétaires* (*Nathalie et Monique*). J'ai toujours pu compter sur eux!

A toute *l'équipe de recherche clinique à l'hôpital Nord* (*Marie, Sandrine, Amina, Angélique, Mbarka, Mélanie*) pour leur temps, leur disponibilité et leur aide précieuse.

Aux seniors de l'équipe Exercice Hypoxie : *Véronique Bricout*, *Monique Mendelson* et *Samuel Vergès* pour leur accueil chaleureux au sein de l'équipe.

A *Baptiste Fournier* pour la collaboration scientifique, la réalisation des séances avec des personnes âgées et tous les échanges que nous avons eu.

A *tous les participants* - c'est grâce à eux que j'ai eu du travail ! Merci pour leur disponibilité, leur joie de vivre et leur motivation.

Aux stagiaires : *Maeva, Marine, Fanny G., Fanny S., Pauline, Mélanie, Yahia, Israel, Coline et Théo* – mes petits « Lutins travailleurs » - pour leur aide et leur travail scrupuleux qui m'ont fait énormément avancer dans l'acquisition, le traitement et l'analyse des données !

Aux *doctorants* - mes compagnons dans les bons (et moins bons) moments : à *Julie, Léa*, *Mathieu* et *Thibault* pour leur bonne humeur éternelle et contagieuse, pour leur soutien et leur aide; et enfin à *Sammy* - mon amie contre tout épreuve, pour le meilleur et pour le pire ! Pour tous ces moments de travail/hors travail partagés avec eux « *Parce que nos plus belles conneries deviennent nos plus beaux souvenirs... »*

Au docteur *Marion* mais ex-doctorante: c'était un plaisir et un honneur de partager ces quelques années en sa compagnie !!!

A *toute ma famille* et *belle-famille* qui m'ont toujours soutenu depuis la Pologne.

A mes parents *Janina et Mirosław*, à ma sœur *Karolina* et à mon frère *Aleksander* qui sont toujours et seulement « one call away » !

A mon mari *Łukasz* pour son amour, son aide, son soutien et sa patience tout au long de cette aventure. C'est grâce à lui que j'ai eu la force de continuer ! Na zawsze mój, na zawsze Twoja, na zawsze My!

# ABRÉVIATIONS

| | |
|---|---|
| AD ACL | Activation Deactivation Adjective Check List |
| AP | activité physique |
| AVC | accident vasculaire cérébral |
| BMI | Body mass index |
| C | groupe contrôle |
| CG | control group |
| CGM | central governor model |
| CHO | carbohydrate |
| CN | control neighborhood |
| $CO_2$ | dioxyde de carbone |
| COMB | combined exercise |
| CRPus | protéine C-réactive ultrasensible |
| CT | cholestérol total |
| DBP | diastolic blood pressure |
| DE | dépense énergétique |
| DM | données manquantes |
| DMT | théorie à deux modes (Dual Mode Theory) |
| DT2 | diabète de type 2 |
| E | exercice |
| ECG | électrocardiogramme |
| EE | energy expenditure |
| EII | exercice intermittent intense |
| EIMC | exercice d'intensité modérée continu |
| EVA | échelle visuelle analogique |
| F | femme |
| FABPpm | protéine chargée du transport membranaire des acides gras |
| FC | fréquence cardiaque |
| $FC_{max}$ | fréquence cardiaque maximale |
| FS | Feeling Scale |
| H | homme |
| HADH | hydroxyacyl-CoenzymeA déshydrogénase |
| HDL | lipoprotéines de haute densité |
| HIIE | high intensity interval exercise |
| HIIE+SSI | high intensity interval exercise with autonomy support |
| HOMA | homeostasis model assessment |
| HR | heart rate |
| $HR_{max}$ | maximal heart rate |
| IMC | indice de masse corporelle |
| IR | insulino-résistance |
| IRM | imagerie par résonnance magnétique |
| LDL | lipoprotéines de faible densité |
| $Lipox_{max}$ | intensité d'exercice au débit d'oxydation lipidique maximal |
| MAP | maximal aerobic power |
| MCV | maladie cardiovasculaire |
| MET | équivalent métabolique |
| MG | masse grasse |
| MGH | masse grasse hépatique |
| MGtot | masse grasse totale |
| MGvisc | masse grasse viscérale |
| MICE | moderate intensity continous exercise |
| MM | masse maigre |
| n | nombre |
| NEFA | non esterified fatty acid |
| NO | monoxyde d'azote |
| NW | Normal-weight |
| OML | taux d'oxydation lipidique maximal |

| | |
|---|---|
| OMS | Organisation mondiale de la Santé |
| OO | overweight/obese |
| PA | physical activity |
| PAT | tonus artériel périphérique |
| PCGL | point de croisement glucido-lipidique |
| $PETO_2$ | pression partielle d'oxygène de fin d'expiration |
| $PETCO_2$ | pression partielle de fin d'expiration en dioxyde de carbone |
| PGC-1 α | protéine PGC-1alpha |
| PMA | puissance maximale aérobie |
| PSG | pedestrian signage group |
| PSN | pedestrian signage neighborhood |
| QC | quartier contrôle |
| QDF | quartier avec signalétique piétonne |
| QR | quotient respiratoire |
| R | récupération/ recovery |
| RA | rigidité artérielle |
| RER | respiratory exchange ratio |
| RPE | ratings of perceived exertion |
| rpm | rotation par minute |
| SA | support de l'autonomie |
| $SaO_2$ | saturation artérielle en oxygène |
| SBP | systolic blood pressure |
| SDT | Self Determination Theory |
| SV | seuil ventilatoire |
| TAD | Théorie de l'Autodétermination |
| TC | total cholesterol |
| TG | triglycerides |
| TOG | taux d'oxydation des glucides |
| TOL | taux d'oxydation des lipides |
| TSRQ | Treatment Self Regulation Questionnaire |
| $\dot{V}E$ | débit ventilatoire |
| $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ | équivalent respiratoire pour l'oxygène |
| $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ | équivalent respiratoire pour le dioxyde de carbone |
| $\dot{V}O_2$ | consommation d'oxygène |
| $\dot{V}O_{2max}$ | maximal oxygen consumption |
| $\dot{V}O_{2pic}$ | consommation pic d'oxygène |
| VOP | vitesse d'onde de pouls |
| VT | ventilatory threshold |

# TABLEAU DES MATIÈRES


INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 10
PREMIÈRE PARTIE : REVUE DE LA LITTÉRATURE ..... 16
1. Activité physique ..... 17
1.1. Activité physique et santé ..... 17
1.1.1. Mortalité et activité physique ..... 17
1.1.2. Risque cardiovasculaire et activité physique ..... 18
1.1.3. Dysfonctionnement métabolique et activité physique ..... 21
1.2. Obésité et activité physique ..... 23
1.2.1. Obésité et santé ..... 25
1.3. Activité physique chez la personne âgée ..... 26
1.4. Recommandations en matière d'activité physique ..... 27
1.5. Adhésion à l'activité physique et niveau d'inactivité ..... 28
2. Optimiser la réponse physiologique et la réponse affective à l'exercice ..... 29
2.1. Optimiser la réponse physiologique à l'exercice : exercice intermittent intense ..... 29
2.2. Optimiser la réponse affective à l'exercice ..... 31
2.2.1.Modèle circomplex de l'affect ..... 32
2.2.2.Dual Mode Theory ..... 33
2.2.3.La règle pic-fin ..... 35
2.2.4.Approches basées sur la prescription *vs* approches basées sur la préférence ..... 36
2.2.5.Réponse affective chez la personne obèse et chez la personne âgée ..... 37
2.2.6.La théorie de l'autodétermination ..... 39
DEUXIÈME PARTIE : CONTRIBUTION PERSONNELLE ..... 44
OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ..... 45
1. MATERIEL & MÉTHODES ..... 47
1.1. Mesures anthropométriques ..... 47
1.2. Epreuve d'effort maximale progressive ..... 47
1.3. Epreuve d'effort métabolique ..... 49
1.4. Composition corporelle par imagerie par résonnance magnétique (IRM) ..... 51
1.5. Mesure de la réactivité vasculaire par tonus artériel périphérique (endoPAT) ..... 53
1.6. Mesure de la rigidité artérielle par vitesse d'onde de pouls (VOP) ..... 54
1.7. Variables biologiques ..... 54
1.8. Dépense énergétique, oxydation des glucides et des lipides ..... 55
1.9. Niveau d'activité physique ..... 56
1.10. Mesure des variables sociocognitives ..... 56
1.11. Mesure de la fréquence cardiaque ..... 57
1.12. Modalités d'exercice ..... 58
1.13. Modalités de réentraînement (étude HYPINT) ..... 59
2. RÉSULTATS ..... 62
2.1. EXERCICE COMBINÉ ET OXYDATION LIPIDIQUE ..... 63
2.2. RÉPONSE AFFECTIVE À L'EXERCICE CHEZ LA PERSONNE ÂGÉE ..... 75
2.3. RÉPONSE AFFECTIVE À L'EXERCICE CHEZ LA PERSONNE EN SURPOIDS/OBÈSE ..... 93
2.4. ÉTUDE HYPINT ..... 111
TROISIÈME PARTIE : SYNTHÈSE, PERSPECTIVES & CONCLUSION GÉNÉRALE ..... 147
Références ..... 155
Annexes ..... 170
Annexe A: ÉTUDE DE LA SIGNALÉTIQUE PIÉTONNE ..... 170
Annexe B: Guide Post Prise en Charge Protocole « HYPINT » (groupe EIMC) ..... 179
Annexe C: Guide Post Prise en Charge Protocole « HYPINT » (groupe EII et EII+SA) ..... 186

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis toujours l'activité physique (AP) fait partie intégrante du mode de vie humain ; elle est nécessaire à la survie et à la satisfaction des besoins physiologiques fondamentaux. Mais, depuis le milieu du XX$^{ème}$ siècle environ, dans les pays industrialisés, les progrès technologiques et la modernisation de la société conduisent à une transformation radicale du mode de vie. Les comportements sédentaires ont pris une part importante, et l'inactivité physique touche aussi bien le domaine professionnel, le secteur des loisirs et les modes de déplacement quotidiens. L'inactivité physique et la sédentarité ont des conséquences négatives importantes sur la santé. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, l'inactivité physique provoque environ 3,2 millions de décès dans le monde chaque année, et constitue le 4$^{ème}$ facteur de mortalité [1]. Elle est notamment associée à une augmentation du risque de développement de certaines maladies chroniques non transmissibles, comme la maladie cardiovasculaire (MCV), l'obésité, le diabète de type 2, l'hypertension, et le cancer du côlon et du sein [2, 3]. Parallèlement, l'AP est un facteur important pour améliorer la santé générale et prévenir le développement des problèmes de santé évoqués ci-dessus [4]. En outre, l'AP joue un rôle crucial dans le contrôle du poids, dans le maintien de l'autonomie des personnes âgées, ainsi que dans la prévention des morbidités associées au vieillissement. Enfin, ses effets sont également importants dans le traitement de certains problèmes psychologiques, mentaux (e.g., dépression, anxiété, stress, schizophrénie) et neurologiques (e.g., maladie de Parkinson, démence, sclérose en plaque) [3, 4].

Pour obtenir un impact suffisant sur la santé, les recommandations les plus récentes pour la population générale (adultes 18-64 ans), préconisent d'accumuler au moins 150 minutes d'AP d'intensité modérée par semaine ou 75 minutes d'AP intense [2]. Ce niveau d'AP recommandé peut être atteint en une ou plusieurs fois. En effet, il est possible de réaliser plusieurs séquences d'AP d'au moins 10 minutes reparties tout au long de la semaine. Il ne s'agit pas seulement d'introduire de l'AP de loisir ou sportive, mais également de l'AP inscrite dans la vie quotidienne (e.g., déplacements actifs, tâches ménagères, jardinage) à condition que l'intensité de celle-ci soit au moins modérée. Pour les personnes obèses les recommandations sont plus exigeantes. Afin de favoriser la perte de poids ou son maintien et de bénéficier des effets favorables de l'AP sur les comorbidités associées, il est recommandé aux individus en surpoids et en situation d'obésité de pratiquer 60 à 90 minutes par jour d'AP d'intensité modérée [5]. Chez la personne âgée (>65 ans), un minimum de 150 minutes par semaine d'AP d'intensité

modérée est recommandé [6]. Les activités intenses ne sont pas conseillées en raison d'une plus faible capacité physique, de limitations fonctionnelles, de la présence de maladies chroniques et d'un risque important de blessure. Cependant, l'exercice intense n'est pas contre-indiqué si l'état de santé le permet. Si la personne âgée ne peut pas atteindre ces recommandations à cause de son état de santé, il lui est conseillé de rester la plus active possible, car même une très faible quantité d'AP est plus bénéfique qu'un comportement sédentaire.

Pour la population générale et les personnes à besoins spécifiques (e.g., personnes obèses, personnes âgées), il est recommandé de réduire au maximum les comportements sédentaires et plus précisément de limiter le temps passé dans une position assise. En outre, il est conseillé d'inclure des courtes périodes d'AP (3-5 minutes de marche et/ou d'exercice de mobilité musculaire) pendant des longues périodes (90-120 minutes) passées dans une position assise [3].

Malgré les nombreuses preuves soulignant les effets bénéfiques de l'AP sur la santé, et la diffusion importante de ces connaissances (en France en 2008, près de deux-tiers des adultes connaissaient les recommandations générales en matière d'AP [7]), le niveau d'adhésion à l'AP reste très faible. Au regard des recommandations actuelles la majeure partie de la population Française reste insuffisamment active. Les études montrent, qu'en France, moins de 37% des adultes et moins de 32% des personnes âgées atteignent le niveau recommandé d'AP [3]. Chez les personnes obèses, la proportion de personnes qui atteint le niveau recommandé d'AP est encore plus restreinte. Elles représentent 4 à 10% selon Tucker et al. (2011) [8] et seulement 1,5 à 3 % selon Tudor Locke et al. (2010) [9]. Les raisons de ce manque d'adhésion à l'AP sont multiples et complexes. Elles peuvent être liées directement à la personne (manque de temps, motivation, plaisir) ou à des facteurs externes (e.g., environnement urbain et social) [10]. Bien que les obstacles à la pratique d'une AP soient, sans conteste, des éléments importants à prendre en compte pour le développement de programmes d'interventions visant à augmenter le niveau de l'AP, dans le cadre de ce travail doctoral, nous nous sommes exclusivement focalisés sur les « ingrédients actifs » de l'engagement dans l'AP dans la population générale, chez la personne en surpoids/obèse et chez la personne âgée.

Dans le champ de la physiologie de l'effort, la recherche met en évidence les effets différenciés de différentes modalités de pratique sur la santé. Plus précisément, des

études très récentes montrent que l'exercice intermittent intense (EII), par rapport à des programmes plus classiques basés sur l'exercice d'intensité modéré continu (EIMC) recommandés par les sociétés savantes, aurait des effets bénéfiques identiques, voire supérieurs, sur la condition physique et certains marqueurs de morbidité cardiovasculaire [11, 12]. Dans le champ de la psychologie de la santé, la littérature souligne la nécessité de prendre en compte la motivation pour l'AP à des fins de santé [13]. A cet égard, le type de motivation vis-à-vis de l'AP est un élément déterminant pour susciter une pratique régulière d'AP. Plusieurs études basées sur la Théorie de l'Autodétermination (TAD, [14]) ont montré que les formes de motivation les plus autodéterminées favorisaient l'implication des individus dans l'AP et étaient associées à des conséquences positives (e.g., plaisir, persistance dans l'activité), alors que les formes les moins autodéterminées avaient des conséquences négatives (e.g., abandon précoce). Face à ce constat, « motiver » à pratiquer durablement une AP devient une préoccupation essentielle. Toutefois, force est de reconnaître que les médiateurs motivationnels utilisés dans les études interventionnelles, n'expliquent généralement qu'un pourcentage modeste de variance du niveau d'AP [15]. Plusieurs perspectives ont été avancées pour faire progresser les connaissances dans ce domaine, notamment la prise en compte des affects ressentis au cours de la pratique [16]. En effet, selon les théories hédoniques l'expérience de déplaisir au cours de l'exercice est un facteur important responsable du faible niveau de participation et d'adhésion à l'AP, alors que l'expérience de plaisir favoriserait une motivation d'approche propice à favoriser un engagement plus durable [17]. En conséquence, mieux comprendre les processus qui favorisent une réponse affective positive à l'exercice, gage d'une pratique d'AP régulière, est une question d'une grande pertinence sociale.

Dans le cadre de ce travail doctoral, nous avons conçu et examiné les effets de programmes d'exercices à destination de deux populations spécifiques : des personnes en surpoids/obèses et des personnes âgées. Pour ces deux populations, l'AP est un comportement de santé important qui permet de prévenir ou retarder les problèmes associés aux surpoids/obésité et au vieillissement. De plus, ces populations étant à risque au niveau de l'inactivité physique - le niveau d'adhésion à l'AP est très faible - il est dès lors important d'identifier les facteurs clés qui favorisent l'engagement durable dans l'AP.

Plusieurs expérimentations ont été menées dans le cadre de cette thèse afin d'examiner les facteurs favorisant simultanément l'optimisation de la réponse physiologique (i.e., effet sur les paramètres de santé) et de la réponse affective (i.e., effet sur le plaisir et la motivation envers l'AP) à l'exercice :

1. *Étude de l'oxydation lipidique au cours de l'exercice combiné* – étude préliminaire physiologique chez le sujet sain permettant de vérifier l'impact sur l'oxydation lipidique d'une séquence d'exercice intermittent intense préalable à un exercice prolongé d'intensité modérée. Dans cette étude exploratoire, nous avons fait l'hypothèse que l'exercice intermittent intense induirait une augmentation de la dépense énergétique qui se reporterait au cours de l'exercice d'intensité modérée prolongé. Cette augmentation de dépense énergétique pourrait augmenter l'oxydation lipidique comme cela peut être le cas lors d'une récupération passive.
2. *Étude de la réponse affective à l'effort chez la personne âgée* – cette étude consistait à examiner les effets de 4 séances d'exercice (3 avec respectivement un pic d'intensité de l'effort au début, au milieu et à la fin de séance, et la quatrième avec une intensité d'exercice autorégulée par le participant) sur la réponse affective à l'effort chez la personne âgée, dans le contexte d'une AP adaptée réalisée en milieu associatif.
3. *Étude de la réponse affective à l'exercice aigu chez la personne en surpoids/obèse* – comparaison de la réponse affective à 3 modalités d'exercice (chez des sujets sains et en surpoids/obèse). Compte tenu de la nécessité d'un engagement à l'AP sur le long terme dans l'obésité, nous avons recherché le type de séance susceptible d'induire la réponse affective la plus positive et de stimuler le plus la motivation envers l'AP chez la personne en surpoids/obèse. Dans le but de répondre à ces objectifs et questionnements nous avons comparé d'un point de vue physiologique et psychologique les effets de 3 types de séances d'exercice aigu : une séance d'intensité modérée continue telle que recommandée dans le traitement de l'obésité, une séance d'exercice intermittent intense imposée, et une séance intermittente intense sur le même modèle que la précédente mais dans laquelle le sujet d'expérimentation peut moduler l'intensité au cours de l'exercice.
4. *Étude HYPINT* –cette étude de recherche clinique vise à établir les modalités d'exercice optimales pour traiter à la fois la morbidité cardiovasculaire et métabolique associée à l'obésité et, améliorer la réponse affective au cours de l'exercice en vue de favoriser l'adhésion des patients à l'AP dans la durée. Dans ce but,

nous avons étudié les effets à court (2 mois de supervision en milieu hospitalier) et long termes (6 mois, après 4 mois d'AP laissée à l'initiative du patient) de l'exercice intermittent intense sur la condition physique, la santé cardiovasculaire et métabolique, la motivation envers l'AP, la réponse affective à l'exercice ainsi que l'adhésion de la personne en surpoids/obèse.

Enfin, en parallèle de ce travail doctoral, nous avons mené l'étude d'évaluation d'un dispositif de signalétique piétonne visant à stimuler l'AP dans la population générale - *Etude de la signalétique piétonne urbaine*. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les effets de la signalétique piétonne sur le niveau d'AP des habitants d'un quartier de la Ville de Grenoble. Un objectif secondaire était de déterminer l'effet du dispositif sur des indicateurs de santé métabolique et cardiovasculaire ainsi que sur la motivation envers le déplacement actif des participants. Cette étude ne s'inscrivant pas dans la cohérence globale de ce travail doctoral, nous avons décidé de ne pas l'intégrer dans le manuscrit. Elle est néanmoins disponible en Annexe A pour ceux qui souhaiteraient en savoir davantage.

# PREMIÈRE PARTIE
# REVUE DE LA LITTÉRATURE

# 1. Activité physique

L'activité physique (AP) est définie comme tout mouvement des muscles squelettiques qui induit une augmentation de la dépense énergétique au-dessus de la dépense énergétique de repos [5]. Elle est caractérisée par son type, sa durée, sa fréquence, son intensité et le contexte dans lequel elle est réalisée, à savoir le cadre professionnel, les déplacements, les loisirs. L'exercice physique est une forme spécifique d'AP qui a pour l'objectif une amélioration et/ou maintien de la condition physique. Elle est planifiée régulièrement et est structurée.

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons passer en revue l'ensemble des indicateurs physiologiques et les variables de santé améliorables par l'AP (chapitre 1.1). La plupart de ces indicateurs ont été mesurés, en tant que variable dépendante, dans les études de ce travail doctoral. De manière plus spécifique, nous recenserons les effets de l'AP chez la personne obèse (chapitre 1.2) et la personne âgée (chapitre 1.3).

La deuxième partie de cette revue de la littérature consistera à décrire certains facteurs importants permettant d'optimiser la réponse physiologique (chapitre 2.1) et la réponse affective à l'exercice (chapitre 2.2).

## 1.1. Activité physique et santé

### 1.1.1. Mortalité et activité physique

*« Les hommes modernes sont en train de mourir en raison d'un manque d'exercice physique »* (‘*modern day humans are dying because of a lack of physical exercise*’) – affirme l'épidémiologiste norvégien Gunnar Erikssen [18]. Ce constat est étayé par plusieurs études qui montrent que, l'inactivité physique constitue un risque de mortalité important [1] qui est également associée à un risque accru de maladies non transmissibles (e.g., MCV, diabète de type 2, obésité, cancers, etc.) [2]. Les MCV et le cancer constituant les premières causes de mortalité par maladie non transmissible dans le monde en 2015 [19].

La relation inverse entre le niveau d'AP et la mortalité est démontrée par de nombreuses études [3, 4]. Une AP régulière permet la réduction de la mortalité précoce de 29 à 41% [20]. Seulement 15 minutes d'AP par jour peuvent contribuer à une diminution de risque de 14% et ainsi atténuer les effets d'un comportement sédentaire

sur la mortalité [3]. Les effets de l'AP sur le risque de mortalité dependent de l'intensité d'exercice. Des données récentes suggèrent que cette intensité n'a pas besoin d'être élevée pour agir sur le risque de mortalité [21]. Chez les personnes qui pratiquent 7 heures d'AP d'intensité modérée par semaine le risque de mortalité est diminué de 24%. Ce risque diminue de 22% pour une AP de faible intensité. Ce risque est diminué de 45% chez des sujets initialement sédentaires, augmentant leur AP jusqu'à un niveau « légèrement actifs » (1,5 à 3METs) [22]. Au total, ces études suggèrent, que même une activité de faible intensité a des effets protecteurs, surtout dans la population sédentaire quel que soit l'âge en présence ou non de facteurs de risque cardiovasculaire.

### 1.1.2. Risque cardiovasculaire et activité physique

Les maladies cardiovasculaires constituent un ensemble de troubles qui affectent le cœur et les vaisseaux. Les facteurs génétiques, le mode de vie (inactivité et mauvaise alimentation, stress, tabagisme, alcoolisme, etc.), ainsi que de nombreux facteurs de risque cardiovasculaire (hypertension, dyslipidémie, hyperglycémie, obésité et surpoids, etc.) sont à l'origine de ces pathologies [23].

Il existe une relation inverse entre le niveau d'AP et le risque de MCV et une relation directe entre l'inactivité et l'incidence des pathologies cardiovasculaires [24-27]. Il est important de mentionner que même une faible augmentation de volume d'AP réduit le risque de MCV par rapport à un état d'inactivité [28, 29]. La pratique régulière d'une AP d'intensité modérée (3-6 METs ; 1 MET = la dépense énergétique d'une personne au repos [30]) et élevée (>6 METs) permet une diminution du risque de pathologies coronariennes de 15 à 21% chez les hommes et de 22 à 29% chez les femmes comparativement aux individus dont le niveau d'AP est inférieur à 3 METs [29].

59% des effets bénéfiques de l'exercice sur les MCV peuvent être expliqués par une diminution des facteurs de risque traditionnels (surpoids, hypertension artérielle, anomalies du profil lipidique [31]) et les 40% restants peuvent être attribués aux effets bénéfiques de l'AP sur l'hémodynamique vasculaire (fonction endothéliale, rigidité artérielle) [32].

#### Fonction endothéliale

L'AP a des effets bénéfiques directs sur la fonction et la condition des artères [33]. L'endothélium vasculaire est la couche la plus interne des vaisseaux sanguins qui

assure plusieurs fonctions importantes (e.g., contrôle de la vasomotricité par la production de plusieurs substances vasoactives: monoxyde d'azote (NO), prostacycline, endothéline I, angiotensine II ; rôle anti-inflammatoire, anti-oxydant, anti-coagulant; inhibition de l'adhésion et de la migration des leucocytes ; inhibition de l'agrégation et de l'adhésion des plaquettes) [34]. L'altération de physiologie de l'endothélium (dysfonctionnement endothéliale) est un marqueur précoce des anomalies vasculaires lies à la MCV et/ou au vieillissement [34]. Un dysfonctionnement endothélial est associé aux facteurs de risque de MCV – plus le nombre de ces facteurs de risque est important plus l'altération de la fonction endothéliale est importante [35, 36]. Ce dysfonctionnement est caractérisé par une altération de la vasomotricité (diminution de la production et de la biodisponibilité des vasodilatateurs: NO, et une augmentation des substances favorisant la vasoconstriction : une augmentation des taux d'endothéline I et des prostanoïdes) [37] ainsi que par une activation spécifique de l'endothélium (action pro-inflammatoire, prolifération, pro-coagulante) favorisant tous les stades de l'athérogénèse [38]. En conséquence, un remodelage de la paroi artérielle et une augmentation de l'épaisseur intima-media sont observés. Une augmentation de l'épaisseur de l'intima-media carotidienne de 0,1 mm conduit à une augmentation de 18 % du risque relatif de survenue d'un accident vasculaire cérébral (AVC), et de 15 % d'un infarctus du myocarde [39].

Le dysfonctionnement endothélial est une condition réversible notamment par l'AP [40]. Les études montrent une relation inverse entre le niveau d'AP et l'épaisseur de la paroi carotidienne [41]. De plus, l'exercice améliore la production de NO ainsi que sa biodisponibilité grâce à la diminution du stress oxydant, et diminue la concentration des substances vasoconstrictives (endothéline I, angiotensine II) [42].

### Rigidité artérielle

La rigidité artérielle (RA) augmente avec l'âge. Elle constitue une des caractéristiques de vieillissement et est associée à certaines conditions pathologiques telles que l'athérosclérose, la dyslipidémie, le diabète de type 2, l'insuffisance rénale chronique [43]. L'augmentation de la RA provoque une élévation de la pression centrale aortique [44] et de la post-charge ventriculaire et potentiellement une hypertrophie myocardique. La perfusion coronarienne peut être également diminuée, ce qui peut exposer à l'infarctus [45]. La vitesse de l'onde de pouls carotido-fémorale (VOP) est une

mesure simple et non invasive qui constitue un bon reflet de la RA. Elle constitue également un bon prédicteur du risque cardiovasculaire au-delà des risques classiques [46].

Une faible prévalence de rigidité artérielle est observée chez les sujets sains qui pratiquent régulièrement une AP par rapport à des individus sédentaires [47, 48]. L'intensité de l'exercice semble associée à la diminution de la RA. L'exercice intense (continu ou intermittent) a des effets bénéfiques plus importants sur la RA chez les sujets sains, hypertendus et atteints de MCV [48-52], que l'exercice continu d'intensité modérée qui n'entraîne pas toujours d'effets sur la RA [53-55]. La pratique régulière d'AP attenue également la RA liée au vieillissement : les sujets actifs ont une RA plus faible que les individus sédentaires du même âge [52].

### Hypertension artérielle

L'hypertension artérielle est un facteur de risque cardiovasculaire (responsable de la survenue de l'accident vasculaire cérébral et de la coronaropathie) et un marqueur des anomalies cardiovasculaires et métaboliques [56]. En France, la prévalence de l'hypertension s'élevait à 31% dans la population des 18 – 74 ans en 2006 - 2007 [57]. Elle augmente de façon importante avec l'âge : 4 % chez les individus 18 - 34 ans, 42,6 % pour le groupe des 45 - 54 ans, pour atteindre 69,9 % chez les personnes de 65 - 74 ans [57]. De nombreuses études indiquent que l'AP régulière et/ou une bonne condition physique réduisent fortement le risque d'hypertension chez les sujets normo- et hypertendus [58, 59]. Les individus inactifs présentent un risque de développer une hypertension plus important que les personnes actives (+ 30%) [60]. La méta-analyse de Whelton et al. (2004) [61] montre une réduction moyenne de la pression artérielle de 5 mmHg suite à un programme d'entrainement aérobie chez des sujets de 18 ans et plus. L'entrainement en force produit une diminution quasiment similaire de 3 à 5 mmHg [62]. Cette diminution semble relativement faible. Cependant, même une diminution de 2 mmHg de la pression artérielle systolique seulement réduit le risque de mortalité de 4% [63]. Les mécanismes qui permettent d'expliquer la baisse de la pression artérielle et les effets cardio-protecteurs de l'AP sont basés sur les adaptations neuro-hormonales (diminution des niveaux de noradrénaline et d'angiotensine II circulantes, augmentation de la biodisponibilité de NO, de la capacité anti-oxydante, de la sensibilité à l'insuline) et

structurales vasculaires (diamètre, élasticité, néoangiogenèse), dans le muscle et dans le tissu adipeux [64].

#### Inflammation

L'inflammation est une réponse biologique complexe de la part du système immunologique à un stimulus nocif (infection, traumatisme). Alors que l'inflammation aigue est une réponse naturelle de l'organisme, une inflammation chronique, même de bas niveau/ou bas grade a des effets néfastes sur la santé. L'inflammation chronique de bas-grade est caractérisée par une augmentation des cytokines pro-inflammatoires circulantes et/ou des protéines de la phase aigüe [65]. Cette inflammation est impliquée dans la pathogenèse de certaines pathologies cardio-métaboliques comme l'obésité, l'insulino-résistance (IR), le diabète de type 2, l'athérosclérose, l'insuffisance cardiaque [66-68]. La protéine C-réactive ultra-sensible (CRPus) est le biomarqueur clinique de l'inflammation le plus souvent étudié. C'est un prédicteur important de MCV [69-73].

Les effets de l'exercice sur l'inflammation sont bien démontrés [74-76]. Alors qu'une séance d'exercice très intense peut provoquer une inflammation aigue proportionnelle à l'intensité de l'exercice et au niveau de dommages musculaires [76], une AP régulière d'intensité modérée à vigoureuse a un effet anti-inflammatoire (réduction de 20 à 40% de la CRPus et des molécules d'adhésion vasculaire) [31, 77, 78]. Ces effets dépendent du niveau de base de CRP – plus le niveau de l'inflammation est élevé, plus importants sont les effets bénéfiques de l'AP sur cette variable[76].

### 1.1.3. Dysfonctionnement métabolique et activité physique

#### Diabète de type 2

Le diabète de type 2 (DT2) est une pathologie caractérisée par une hyperglycémie chronique et les anomalies du métabolisme du glucose, des lipides et des protéines [79]. Le diabète constitue une cause importante de mortalité précoce, de morbidité cardiovasculaire (CV), de maladies rénales et neurologiques. Le DT2 (90% à 95% des cas) résulte de la combinaison d'une insulino-résistance (IR) et d'une sécrétion d'insuline compensatoire inadaptée. Les facteurs génétiques et environnementaux sont fortement associés au développement de cette pathologie. Du point de vue génétique, il

s'agit d'une maladie polygénique complexe pas totalement caractérisée. L'âge, l'obésité et l'inactivité physique constituent des facteurs physiopathologiques importants.

Le traitement du DT2 vise à diminuer et à maintenir une glycémie, un profil lipidique et une pression artérielle optimaux pour prévenir ou retarder l'apparition des complications chroniques associées à cette pathologie. Les mesures diététiques et l'AP jouent un rôle important dans la prévention et dans le traitement de cette pathologie grâce à leurs effets sur la glycémie, le profil lipidique, la pression artérielle, et sur le poids. Une méta-analyse incluant 10 études [80] montre que l'AP régulière (au moins 2,5 h par semaine de la marche rapide) permet une réduction du risque de DT2 de 30% (RR : 0,70 ; intervalle : 0,58-0,84). De plus, une bonne condition physique est associée à un moindre risque de développement de cette pathologie [81, 82]. L'exercice aérobie d'intensité modérée à vigoureuse influence la sensibilité à l'insuline - une seule semaine d'entrainement peut produire une amélioration chez le sujet diabétique [83]. Cependant, même l'exercice de faible intensité peut avoir des effets favorables bien que plus modestes sur la sensibilité à l'insuline [84]. L'entrainement augmente la réponse du muscle squelettique à l'insuline en augmentant l'expression des protéines impliquées dans le métabolisme du glucose et les voies de la signalisation de l'insuline [85-88]. L'amélioration de l'oxydation lipidique joue également un rôle important dans l'amélioration de la sensibilité à l'insuline [89-92]. Le DT2 est associé à une diminution de métabolisme lipidique au cours de l'exercice physique au profit de l'oxydation des glucides [88]. L'entrainement d'intensité faible et/ou modérée permet de favoriser le stockage du glycogène musculaire et donc de corriger la glycémie [89, 93, 94]. L'AP régulière influence également le profil lipidique (diminution de CT et LDL-cholestérol et augmentation du niveau de HDL-cholestérol - voir chapitre « Anomalies du profil lipidique » de ce manuscrit), mais améliore aussi la pression artérielle - voir chapitre « Hypertension artérielle » de ce manuscrit. De plus, l'exercice a des effets bénéfiques sur la santé mentale, le bien-être et la qualité de vie de la personne diabétique [95].

## Anomalies du profil lipidique

Les anomalies du profil lipidique se traduisent par une hypercholestérolémie, une hypertriglycéridémie ainsi qu'une mauvaise répartition du cholestérol sur les lipoprotéines. Elles constituent un risque important de MCV et de DT2. L'hyperlipidémie chronique conduit au durcissement et à l'épaississement des parois des artères

responsable à terme de l'accident vasculaire cérébral ischémique, de l'infarctus du myocarde ou de l'artérite des membres inférieurs. Une concentration élevée de lipoprotéines de basse densité (LDL-cholestérol, « *mauvais cholestérol* ») et de triglycérides ont des conséquences néfastes sur la santé cardiovasculaire alors qu'un niveau élevé de lipoprotéines de haute densité (HDL-cholestérol, *« bon cholestérol »*) a plutôt des effets bénéfiques. Le HDL-cholestérol transporte le cholestérol vers le foie où il est éliminé. Ainsi il empêche une accumulation de cholestérol dans les parois des artères et contribue à diminuer le risque cardiovasculaire. L'hypercholestérolémie et l'hypertriglycéridémie jouent un rôle plus ou moins important dans la pathogenèse du syndrome métabolique, de l'insulino-résistance et du DT2 [96-98]. Mais, selon les experts c'est plutôt le taux de HDL-cholestérol (et éventuellement son niveau d'oxydation) qui prédit le mieux le risque cardiovasculaire et métabolique [99, 100].

Une alimentation trop calorique et riche en cholestérol et graisses animales ainsi qu'un niveau de sédentarité et d'inactivité trop importants contribuent au développement des anomalies du profil lipidique. Le changement des habitudes alimentaires constitue alors une base pour améliorer le profil lipidique. Cependant, de nombreuses études montrent également les effets bénéfiques de l'exercice chronique [101-103]. L'AP permet d'augmenter significativement le niveau de HDL-cholestérol (+5%) indépendamment de la variation du niveau de LDL-cholestérol et de la perte du poids [104-106]. Le niveau de triglycérides est diminué dans certaines études après un programme de réentrainement, mais cette diminution dépend de la concentration initiale : la diminution la plus importante a été observée chez les sujets inactifs présentant un taux élevé de triglycérides à l'état basal [104, 107]. En revanche, l'exercice n'a peu ou pas d'effets sur le niveau de LDL-cholestérol sauf si on obtient une perte de poids [104, 108]. En effet, les variations de LDL-cholestérol et de poids sont bien corrélées ($r = 0,75$, $p = 0,009$) [108] et pour chaque kilogramme de poids perdu, on observe une diminution de 0,8 $mg.dL^{-1}$ de LDL-cholestérol [109].

## 1.2. Obésité et activité physique

L'épidémie mondiale d'obésité (définie comme une maladie par l'OMS en 1997 [11]) est une des conséquences directes de la dégradation du style de vie. Depuis de nombreuses années la prévalence de l'obésité est en constante augmentation dans le monde et a atteint un niveau pandémique mondial (« *globesity* », OMS, [110]). C'est la

première fois dans l'histoire de l'humanité que la prévalence mondiale du surpoids dépasse celle de l'insuffisance pondérale [111]. En France, le nombre de personnes adultes obèses (IMC ≥ 30 $kg.m^{-2}$) augmente constamment (6,1% en 1980, 13,1% en 2006, 15% en 2012 [112]) pour attendre 17,2% en 2015 [113]. De plus, 32,3% des Français adultes de 18 ans et plus étaient en surpoids (25 ≤ IMC < 30 $kg.m^{-2}$) [112].

Les origines de l'obésité sont multiples et complexes et les facteurs impliqués dans son développement ne sont pas encore entièrement élucidés [114]. Cependant, un déséquilibre chronique entre calories consommées et dépensées - l'augmentation des apports caloriques et la diminution de niveau d'AP - joue un rôle incontestable dans l'émergence récente de cette pathologie [115].

L'obésité est définie comme une accumulation excessive de tissu adipeux associée aux multiples conséquences physiopathologiques. L'Indice de Masse Corporelle (IMC ; IMC ($kg.m^{-2}$) = poids / taille au carré) est l'indicateur le plus utilisé pour déterminer le niveau d'obésité (Tableau 1). Cet indice est cependant critiquable car il ne permet pas de différencier la quantité de masse musculaire de la masse grasse. Des études récentes indiquent que la mesure du tour de taille est un meilleur indicateur de la morbidité associée à l'obésité que l'IMC [116]. Le tour de taille est une mesure anthropométrique simple qui est un bon prédicteur de la quantité de graisse viscérale. Il est associé également à l'insulino-résistance, l'hypertension, la dyslipidémie, l'inflammation de bas-grade, au DT2 et aux MCV [116].

| Classification en fonction de l'indice de masse corporelle | |
|---|---|
| Insuffisance pondérale | < 18.5 |
| Éventail normal | 18.5 - 24.9 |
| Surpoids | ⩾ 25.0 |
| Préobésité | 25.0 - 29.9 |
| Obésité | ⩾ 30.0 |
| Obésité, classe I | 30.0 - 34.9 |
| Obésité, classe II | 35.0 - 39.9 |
| Obésité, classe III | ⩾ 40.0 |

***Tableau 1.*** *Classification de surpoids et de l'obésité sur la base de l'IMC (OMS : http://www.who.int/features/factfiles/obesity/facts/fr/).*

### 1.2.1. Obésité et santé

L'obésité est un problème de santé publique important qui a des conséquences sur la santé au plan physique (cardiovasculaire : insuffisance coronaire, hypertension artérielle ; respiratoire : syndrome d'apnée du sommeil, insuffisance respiratoire ; métabolique : syndrome métabolique, insulino-résistance, DT2 ; ostéo-articulaire) [110] et psychosocial (altération de la qualité de vie, de la perception de soi et de l'estime de soi, troubles du comportement alimentaire, troubles de l'humeur, dépression, discrimination, isolement social etc.) [232] (Figure 1). L'inflammation chronique et le stress oxydatif sont deux des facteurs importants responsables de l'apparition des problèmes cardio-métaboliques associés à l'obésité [117]. La distribution du tissu adipeux et en particulier l'accumulation de graisse autour des viscères joue également un rôle important dans l'apparition de ces problèmes de santé [118-120]. Le tissu adipeux n'est pas un simple réservoir de stockage de l'énergie. C'est un organe complexe qui joue un rôle métabolique, immunologique et endocrinien important. Outre les adipocytes, il est composé de tissu conjonctif, de tissu nerveux, des cellules de la fraction stroma-vasculaire et de cellules immunitaires [121]. Le tissu adipeux secrète des adipokines comme la leptine et l'adiponectine, dont la plupart sont responsables de l'apparition de l'état inflammatoire chronique de bas grade et donc des complications cardio-métaboliques associées à l'obésité [120].

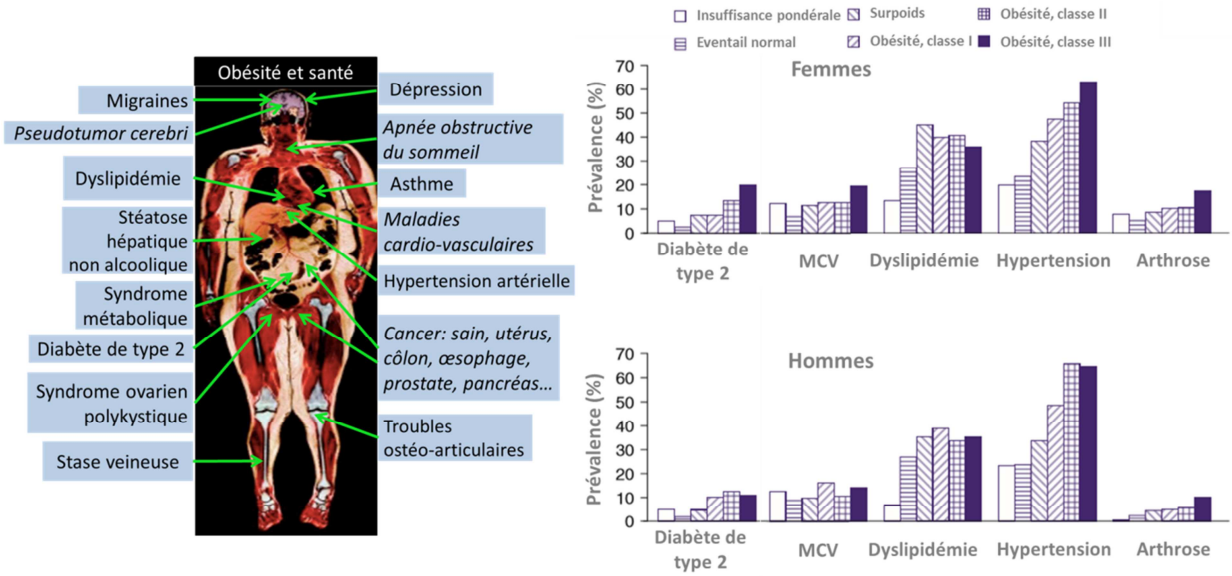



***Figure 1.*** *Problèmes de santé liés à l'obésité (adapté après Must et al., 1999 [122]).*

Quelle que soit la sévérité de l'obésité et son traitement (mesures diététiques ou chirurgie bariatrique), l'exercice joue un rôle adjuvant au traitement [123, 124]. Lorsque

le traitement est basé uniquement sur une restriction calorique on observe certes une diminution de la masse grasse, mais également une perte de la masse maigre (d'environ 36%). En revanche, si la restriction calorique est associée à un programme d'AP cette perte de masse maigre est largement réduite (12%) [125] voire complétement évitée lorsque sont combinés restriction calorique, exercice aérobie et renforcement musculaire [126]. Le maintien de la masse maigre est très important car il permet d'augmenter la dépense énergétique totale de repos [124]. Il a été démontré que les personnes dont la dépense énergétique totale de repos est faible augmente leur risque de prise de poids [127]. Outre ses effets sur la composition corporelle, l'AP régulière induit de nombreux effets favorables tels que la diminution du risque d'apparition de maladies chroniques liés à l'obésité (e.g., MCV, cancer, maladies métaboliques) [24].

## 1.3. Activité physique chez la personne âgée

L'espérance de vie a presque doublé depuis le début du XX siècle (45 ans pour les hommes et les femmes en 1900 *vs* 79,4 ans pour les hommes et 85,4 ans pour les femmes en 2016) [128].

La prévalence de plusieurs maladies (e.g., maladie cardiovasculaire, diabète de type II, cancer, ostéoporose) et de plusieurs facteurs de risque (e.g., hypercholestérolémie, hypertension, obésité) augmente avec l'âge [129-131]. En raison de l'augmentation constante de la durée de vie, de plus en plus des personnes âgées sont touchées par les maladies ou une invalidité. En outre, l'autonomie de ces personnes peut être également altérée même chez les sujets indemnes de maladies en raison de l'altération de leurs capacités fonctionnelles (e.g., puissance, endurance, flexibilité, équilibre) [129, 132, 133]. Cette limitation de la capacité fonctionnelle va retentir directement sur la qualité de vie car elle limite les tâches de la vie courante (e.g., se lever d'une chaise, monter et descendre les escaliers, se laver) [133]. En dehors de la diminution de la forme physique et de la mobilité, le vieillissement est associé à une dégradation des fonctions cognitives et, dans les cas graves, conduit à la démence [134].

De nombreuses études confirment les effets bénéfiques de l'AP sur la condition physique, la cognition, ainsi que sur des maladies cardio-métaboliques et les facteurs de risque associés au vieillissement [131, 132, 134, 135]. Le maintien de l'autonomie nécessite une aptitude aérobie de 13-14 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ (environ 4 METs). Une augmentation de seulement 4-6 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ peut retarder l'apparition de dépendance

de 6-7 ans [135]. L'AP permet d'augmenter la capacité physique, la masse et la force musculaire, ainsi que l'équilibre postural [136, 137]. De plus, les personnes âgées actives pressentent moins de troubles de la marche que les sujets inactifs du même âge [136, 137]. Le maintien ou l'amélioration des variables de condition physique ont un impact direct sur la qualité de vie de la personne âgée et le maintien de l'autonomie [138-141].

Malgré tous les effets bénéfiques de l'AP sur la santé et le bien-être de la personne âgée, une grande partie de cette population reste insuffisamment active. En Europe, 70% des personnes âgées de 55 ans et plus ne pratiquent aucune activité sportive ou ne la pratiquent que très rarement (< 3 fois par mois) et 57% déclarent ne jamais faire ou faire rarement des AP courantes (comme marche à pied, vélo, jardinage etc.) [142]. Ce faible niveau d'adhésion à l'AP peut être expliqué par des facteurs physiologiques – des problèmes de santé et la diminution de la condition physique liés au vieillissement [143] ; ainsi que par les facteurs psychologiques – peur de la blessure et de la chute, faible estime de soi, isolement, déplaisir provoqués par l'AP [143, 144].

## 1.4. Recommandations en matière d'activité physique

Depuis que les effets bénéfiques de l'AP sur la santé ont été bien démontrés, la communauté scientifique recherche également le niveau minimal d'AP nécessaire pour obtenir un impact suffisant sur la santé. Selon les recommandations les plus récentes pour la population générale (adultes 18-64 ans), il faut accumuler au moins 150 minutes d'AP d'intensité modérée par semaine ou 75 minutes d'AP intense [2] pour pouvoir bénéficier des effets de l'AP sur la santé. Ce niveau d'AP recommandé peut être atteint en une ou plusieurs fois. En effet, il est possible de réaliser plusieurs séquences d'AP d'au moins 10 minutes reparties tout au long de la semaine. Il ne s'agit pas seulement d'introduire de l'AP de loisir ou sportive, mais également de l'AP inscrite dans la vie quotidienne (déplacements actifs, tâches ménagères, jardinage) à condition que l'intensité de celle-ci soit au moins modérée.

Pour les personnes obèses les recommandations sont plus exigeantes. Afin de favoriser la perte de poids ou son maintien et de bénéficier des effets favorables de l'AP sur les comorbidités associées. Il est recommandé aux individus en surpoids et en situation d'obésité de pratiquer 60 à 90 minutes par jour d'AP d'intensité modérée [5]. Néanmoins, pour la plupart de ces personnes il est très difficile de suivre ces recommandations ; 4 à 10% selon Tucker et al. (2011) [8] ou seules 1,5 à 3 % selon

Tudor Locke et al. (2010) [9] des personnes en surpoids/obèses atteignent le niveau recommandé d'AP.

Chez la personne âgée (>65 ans), l'AP est importante pour prévenir mais également pour participer au traitement des maladies et l'incapacité physique associés au vieillissement. Pour cette population, un minimum de 150 minutes par semaine d'AP d'intensité modérée est recommandé [6]. Les activités intenses ne sont pas conseillées à cause d'une plus faible capacité physique, de limitations fonctionnelles, de la présence de maladies chroniques et d'un risque important de blessure. Cependant, l'exercice intense n'est pas contre-indiqué si l'état de santé le permet. Si la personne âgée ne peut pas attendre ces recommandations à cause de son état de santé, elle doit rester la plus active possible, car même une très faible quantité d'AP est plus bénéfique qu'un comportement sédentaire.

Pour la population générale et les personnes qui ont des besoins spécifiques (e.g., personnes obèses, personnes âgées), il est recommandé de réduire au maximum les comportements sédentaires et plus précisément de limiter le temps passé dans une position assise. En plus, il est conseillé d'inclure des courtes périodes d'AP (3-5 minutes de marche et/ou d'exercice de mobilité musculaire) pendant des longues périodes (90-120 minutes) passées dans une position assise [3].

Le problème principal de ces recommandations est qu'elles annoncent *Combien* d'AP est nécessaire pour avoir des effets sur la santé, cependant, elles ne précisent pas *Comment* ce niveau d'AP peut être atteint.

## 1.5. Adhésion à l'activité physique et niveau d'inactivité

Malgré les nombreuses preuves soulignant les effets bénéfiques de l'AP sur la santé, le niveau d'adhésion à l'AP reste très faible. Au regard des recommandations actuelles la majeure partie de la population Française reste insuffisamment active. Les études montrent, qu'en France, moins de 37% des adultes et moins de 32% des personnes âgées atteignent le niveau recommandé d'AP [3].

Les raisons de ce manque d'adhésion sont multiples et complexes. Elles peuvent être liées directement à la personne (manque de temps, motivation, plaisir) ou à des éléments indépendants de la personne (e.g., environnement urbain et social) [10]. L'identification de ces facteurs est cruciale pour le développement des interventions visant à augmenter le niveau de l'AP et réduire la sédentarité. Il apparait alors essentiel

de mieux comprendre quels sont les facteurs qui favorisent l'engagement dans l'AP et l'adoption d'un mode de vie plus actif dans la population générale, chez la personne en surpoids/obèse et chez la personne âgée. Les chapitres qui suivent traitent des conditions qui peuvent potentiellement favoriser l'adhésion à l'AP.

## 2. Optimiser la réponse physiologique et la réponse affective à l'exercice

Favoriser l'engagement durable dans l'AP est une tâche extrêmement compliquée. Dans ce chapitre nous allons nous concentrer d'abord sur les facteurs liés au domaine de l'AP (l'exercice intermittent intense, chapitre 2.1) pour ensuite décrire les facteurs individuels et plus précisément certains facteurs psychologiques (motivation et réponse affective à l'exercice – chapitre 2.2) qui favorisent l'engagement à l'AP.

### 2.1. Optimiser la réponse physiologique à l'exercice : exercice intermittent intense

Depuis quelques années l'exercice intermittent intense (EII) a regagné l'attention de milieu scientifique grâce à sa courte durée effective compensée par un travail à des intensités élevées. L'exercice intermittent de haute intensité (en anglais : high intensity interval exercise) est composé de courtes périodes de haute intensité (proche ou supérieure à la capacité maximale de l'individu) entrecoupées par les périodes de faible intensité ou de repos. Depuis quelques années, ce type d'exercice - connu et largement répandu dans le milieu de l'entrainement sportif – commence à trouver sa place auprès de patients atteints de maladie chronique.

Une multitude de protocoles est retrouvée dans la littérature. Les protocoles peuvent être classés en 2 catégories : EII avec intervalles de courte durée (8 à 30 s) ou de longue durée (2 à 4 minutes). Cette diversité des protocoles est due au fait que plusieurs paramètres peuvent être manipulés pour constituer un protocole d'EII : 1) la durée de l'intervalle intense (<4 minutes) ; 2) l'intensité cible de l'intervalle (typiquement un pourcentage de la capacité maximale de l'individu : puissance maximale aérobie (PMA), fréquence cardiaque maximale ($FC_{max}$) ou consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2pic}$)) ; 3) le type de récupération : passive vs. active ; 4) la durée des périodes de récupération ; 5) l'intensité de période de récupération active ; 6) le nombre des séries ; 7) le nombre d'intervalles dans une série ; 8) le nombre d'intervalles dans une séance, et 9) le type d'exercice (e.g., course à pied, ergocycle, renforcement

musculaire, pliométrie) [145]. Cette diversité facilite l'individualisation de l'exercice et l'adaptation aux besoins de l'individu. Elle permet également de limiter l'ennui qui peut apparaître au cours des entraînements composés de séances continues, longues et donc monotones. L'entraînement basé sur EII permet une sollicitation maximale voire supra-maximale tout à fait supportable grâce aux périodes de récupération. De plus, le temps consacré à ce programme peut être considérablement diminué par rapport aux séances d'exercices d'intensité modérée continus recommandés par les sociétés savantes [146].

L'EII est donc une alternative prometteuse aux exercices d'intensité modérée continus (EIMC). Ce type d'exercice peut induire des effets bénéfiques comparables ou supérieurs à ceux de l'EIMC sur la capacité fonctionnelle à l'effort, la performance, le métabolisme musculaire et la santé cardiovasculaire et métabolique. A ce jour, des nombreuses études confirment les effets bénéfiques de l'EII sur la santé.

Weston et al., 2014 [147] dans sa méta-analyse montre qu'à la suite d'un entrainement basé sur l'EII réalisé à 85–95 % de fréquence cardiaque maximale (%$FC_{max}$), l'endurance cardiorespiratoire augmente considérablement chez les individus atteints des maladies chroniques non transmissibles. D'autre part, chez les adultes en bonne santé, l'EII induit une augmentation de $\dot{V}O_{2max}$ légèrement supérieure à celle généralement provoquée par l'EIMC [148, 149]. Les adaptations centrales et périphériques qui favorisent la meilleure disponibilité, l'extraction et l'utilisation de l'oxygène peuvent expliquer ces effets supérieurs de l'EII sur la condition physique [40].

L'EII améliore également la composition corporelle. Une méta-analyse récente [11] montre que l'EII permet une diminution du tour de taille d'environ 2 cm, une réduction de la masse grasse indépendamment de la perte de poids et une augmentation de la masse musculaire. Les mécanismes responsables de ces effets sur la composition corporelle ne sont pas entièrement connus. Cependant, l'excès de consommation d'oxygène post-exercice, l'augmentation de la capacité d'oxydation lipidique, ainsi que la diminution d'appétit sont souvent évoqués comme les mécanismes sous-jacents à la modification de la composition corporelle [150-152].

De nombreuses études montrent également des effets positifs de l'EII sur certains facteurs de risque de maladies cardio-métaboliques (e.g., pression artérielle systolique et diastolique [153, 154], fonction endothéliale [12, 155], résistance à l'insuline [12]). Les principaux effets de l'EII sur la santé sont présentés dans le Tableau 2.

| Paramètre | Effets |
|---|---|
| Masse grasse | ↓1,6 à 2,5 kg MG tot [154, 156, 157]<br>↓44 à 48% MG visc [153, 158] |
| Consommation maximale d'oxygène | ↑ 10 à 41% [153, 154, 156-158] |
| Fréquence cardiaque de repos | ↓ [11, 159-163] |
| Pression artérielle | ↓systolique et diastolique [153, 154]<br>↓systolique [156] |
| Fonction endothéliale | ↑ réactivité vasculaire [153, 164]<br>↑ distensibilité des artères [155] |
| Biogenèse mitochondriale | ↑ PGC-1α [146, 153, 159] |
| Sensibilité à l'insuline | ↑19 à 58% [153, 154, 156-158] |
| Oxydation des lipides | ↑ HADH [146, 159, 165, 166]<br>↑ FABPpm [166] |
| Utilisation de glycogène et de phosphocréatine | ↓ [146, 159, 167, 168] |

***Tableau 2.*** *Principaux effets physiologiques de l'EII.*
*Abbréviations : MG tot – masse grasse totale ; MG visc – masse grasse viscerale ; HADH – hydroxyacyl-CoenzymeA déshydrogénase ; FABPpm –plasma membrane fatty acid binding protein – protéine chargée du transport membranaire des acides gras ; PGC-1α- peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha – protéine PGC-1alpha.*

Plusieurs études montrent que ce type de programme est sécuritaire et peut être utilisé pour lutter contre des problèmes associés à l'inactivité physique et à la sédentarité [11, 153, 154, 164, 169].

## 2.2.Optimiser la réponse affective à l'exercice

Comme nous l'avons souligné dans la première partie de ce cadre théorique, les effets bénéfiques de l'AP sur la santé sont bien identifiés. En revanche, les études réalisées pour identifier les mécanismes sous-jacents au processus d'engagement, d'adhésion et de désengagement de l'AP, n'ont pas été très fructueuses jusqu'à présent. Les interventions réalisées pour augmenter la participation et l'adhésion de la population à l'AP ont produit des résultats relativement modestes [170, 171].

L'expérience subjective que les individus éprouvent lors de la pratique d'une AP est l'un des facteurs susceptibles d'expliquer les comportements d'AP qui a été le moins étudié. Or, les théories hédonistes de la motivation [17] suggèrent que lorsque les individus ressentent du plaisir dans une activité, ils ont tendance à vouloir la réitérer, et, a *contrario*, lorsque les individus éprouvent du déplaisir, de l'inconfort, de la douleur ou de la fatigue, ils sont enclins à éviter la pratique de ces activités. Conformément à ce

principe hédoniste, la réponse affective à l'exercice s'est révélée être l'un des facteurs qui déterminent l'adhésion à court et à long termes à l'AP [172]. Certaines études montrent que la réponse affective pendant l'effort prédit la poursuite d'une AP entre 6 et 12 mois après l'arrêt d'un programme d'exercice [173]. En outre, une récente méta-analyse montre une corrélation positive modérée à élevée entre la réponse affective au cours de l'exercice et l'engagement dans l'AP ($r$ = 0,18 – 0,51) [172].

L'affect est défini comme un état neurophysiologique consciemment accessible. C'est un sentiment simple et primitif [174] tel que le plaisir, le déplaisir, la tension, le calme, l'énergie, ou la fatigue. Les affects peuvent être ressentis de manière pure (i.e., seuls) ou être combinés aux autres états affectifs que sont les émotions et les humeurs [175]. Tout individu en fait l'expérience à chaque instant, mais la nature (ou le type) et l'intensité des affects varient dans le temps. Les affects renseignent l'individu sur la qualité de ses interactions avec le monde extérieur en associant un sentiment d'attraction ou de répulsion aux stimuli reçus (e.g., objet, situation, personne). Selon Batson et Shaw (1992) [176] l'affect est crucial dans le développement des motivations d'approche et d'évitement. Les affects positifs ou plaisants informent de l'utilité d'un stimulus et induisent un comportement d'approche vers celui-ci ; a *contrario* les affects négatifs ou déplaisants informent d'un danger et suscitent un comportement d'évitement à l'égard de ce dernier (e.g., Cabanac, 1979 [177] ; Panksepp, 1998 [178]).

### 2.2.1. Modèle circomplex de l'affect

Les recherches en psychophysiologie mesurent généralement les affects à partir de deux composantes de base : la valence affective (i.e., le plaisir-déplaisir), et l'intensité (i.e., le niveau d'activation). Ces deux dimensions structurent le modèle circomplex de l'affect proposé par Russell (Circumplex Model of Affect, [179-181], Figure 2). Le terme « circomplex » signifie « ordre circulaire de complexité » et renvoie à l'idée que les relations entre les différents états affectifs étant très hétérogènes, un ordre circulaire représente mieux ces relations qu'un ordre linéaire [182]. Selon ce modèle, les deux dimensions sont orthogonales et bipolaires, et forment un espace affectif composé de quatre parties permettant de répertorier l'ensemble des réponses affectives. La partie en haut à gauche du modèle répertorie les affects déplaisants intenses (e.g., tension, stress), la partie en bas à gauche regroupe les affects déplaisants de faible intensité (e.g., ennui, somnolence), la partie en haute à droite réfère aux affects plaisants intenses

(e.g., vitalité, vigueur), et la partie en bas à droite caractérise les affects plaisants peu intenses (e.g., relaxation, calme) (Figure 2.a).

Les deux dimensions du modèle circomplex permettent de mesurer les affects et de suivre les évolutions de la réponse affective au cours de l'exercice. La théorie du mode duel que nous allons maintenant présenter permet d'expliquer pourquoi la réponse affective évolue.

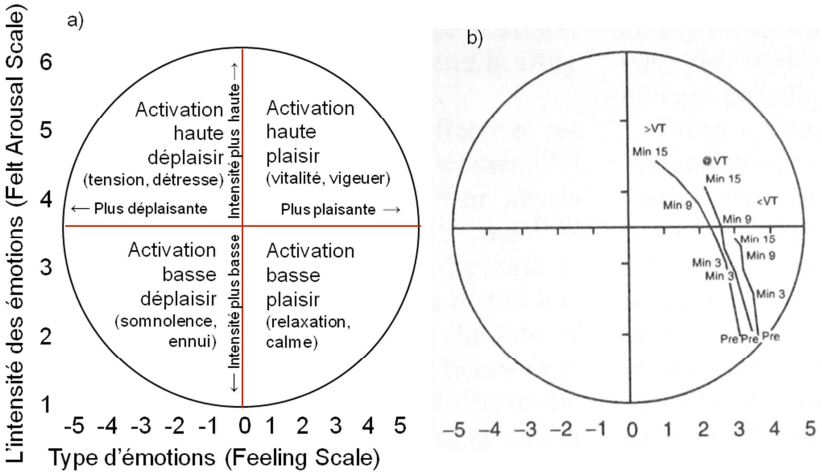



***Figure 2.*** *(a) Circomplex model de l'affect ; (b) relation entre l'intensité d'exercice et les deux composantes de l'affect : valence et activation [183].*
Abréviations : >VT – intensité supérieure à celle obtenue au seuil ventilatoire ; @VT – intensité égale à celle obtenue au seuil ventilatoire ; <VT- intensité inférieure à celle obtenu au seuil ventilatoire ; Pre – avant exercice ; Min 3, 9, 15 – 3ième, 9ième, 15ième minute d'exercice.

### 2.2.2. Dual Mode Theory

L'idée essentielle sur laquelle repose la théorie du mode duel est que la nature de la réponse affective (i.e., valence émotionnelle et niveau d'activation) varient selon l'intensité de l'effort [16, 184]. Dans la littérature, l'intensité d'exercice est repérée en référence au seuil ventilatoire 1 (SV1). Le SV1 correspond à l'intensité au-dessus de laquelle la ventilation augmente de façon brusque et non-linéaire. Il est associé au point de transition entre la production aérobie d'énergie et la production anaérobie. Il constitue un bon marqueur de l'endurance aérobie. Le SV1 se situe au-delà de 50-55% de $\dot{V}O_{2max}$. Au-dessous de ce seuil, l'exercice musculaire est facile et bien supporté. Au-dessus, il est plus difficile et moins bien supporté [185]. Néanmoins, la réponse affective varie à proximité du SV1 en fonction de différences interindividuelles dans la tolérance à l'effort. Dans les études antérieures [183], quatre tendances sont généralement observées :

- les réponses affectives sont plutôt positives avec un faible niveau d'activation quand l'intensité est inférieure au SV1 ;

- les réponses affectives sont hétérogènes soit positives soit négatives - lorsque l'intensité est proche du SV1 ;

- les réponses affectives deviennent plus négatives lorsque l'intensité dépasse le SV1 ;

- un retour aux réponses affectives positives est observé après l'effort lorsque le niveau d'activation diminue [183].

Ces relations entre l'intensité et la réponse affective sont présentées sur la Figure 2.b et la Figure 3.

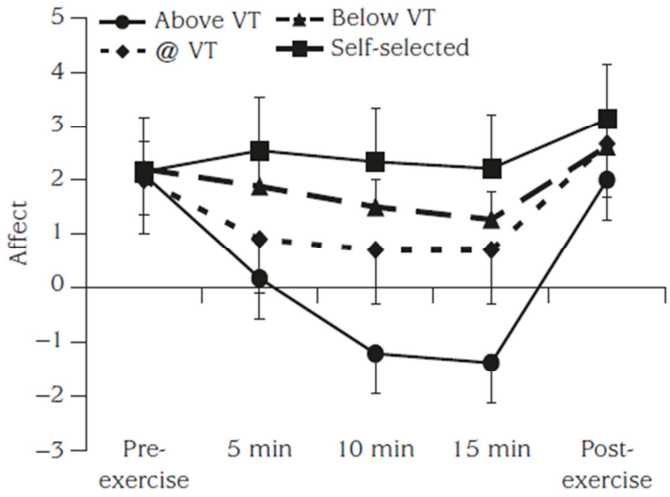



**Figure 3.** Relation entre la réponse affective et les différentes intensités d'effort [186].
*Abréviations : Above VT – intensité supérieure à celle obtenue au seuil ventilatoire 1 ; Below VT – intensité inférieure à celle obtenue au seuil ventilatoire 1 ; @VT – intensité au seuil ventilatoire 1 ; Self-selected – intensité choisie par le participant ; Affect – émotions ; Pre-exercise – avant exercice ; Post-exercise – après exercice.*

Pour expliquer ces variations de la réponse affective pendant l'effort, la théorie du mode duel (DMT- ang. Dual Mode Theory, [16]) met en évidence deux ensembles de facteurs qui sont connectés aux centres affectifs du cerveau (amygdale, cortex cingulaire antérieur, cortex insulaire) : (1) les processus cognitifs (signification de l'exercice, buts poursuivis, niveau d'estime de soi, image de soi) et (2) les facteurs physiologiques (les sensations et ressentis provenant de différents récepteurs du corps pendant l'effort : douleur, fatigue, effort respiratoire, augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle) qui signalent le niveau de perturbation de l'homéostasie [16]. Lorsque l'intensité est proche des limites physiologiques, la connexion entre les centres affectifs et les voies intéroceptives (i.e., facteurs physiologiques) étant évolutivement plus ancienne, les stimuli intéroceptifs provoquent une réponse affective qui bloque l'influence des processus cognitifs sur les affects [16]. Plus précisément, pour une intensité d'exercice inférieure à celle du SV1, ce sont les facteurs cognitifs qui déterminent la nature de l'expérience affective, mais quand l'intensité est supérieure à

celle du SV1 ce sont les facteurs intéroceptifs qui prennent le pas sur les facteurs cognitifs et déterminent les réponses affectives. Pour les intensités proches du SV1 les différences interindividuelles observées proviennent du fait que certaines personnes, ayant une meilleure adaptation physiologique, supportent mieux cette intensité d'exercice. Dans ce cas, ce sont des facteurs cognitifs qui déterminent la réponse affective. Chez d'autres, au contraire, se sont déjà les facteurs physiologiques qui déterminent la tolérance à l'effort et provoquent donc une dégradation de la réponse affective. Un autre paramètre important qui influe sur la réponse affective à l'exercice est le pic d'intensité réalisé au cours de la séance.

### 2.2.3. La règle pic-fin

La décision de poursuivre un comportement dépend largement des expériences passées. Le souvenir d'une expérience désagréable, voire douloureuse va générer un comportement d'évitement, et inversement, un souvenir agréable générera une motivation d'approche incitant à revivre ce type d'événement [187]. Néanmoins, certains moments au cours d'une expérience ont un impact plus important que d'autres sur la réponse affective. Quand on pense à un événement qui vient de se terminer, on n'arrive pas à se remémorer l'ensemble de tous les instants qui le composent. En revanche, deux moments apparaissent particulièrement saillants lors de la remémoration d'un événement et sont liés à des biais de mémoire : le premier biais est lié à l'effet du temps, c'est-à-dire que les derniers instants de l'événement sont plus facilement accessibles, et ont donc un impact plus important sur la réponse affective post-événement que ceux plus lointains ; le second biais est lié au moment le plus marquant de l'événement, c'est-à-dire que le pic d'intensité – le moment le plus agréable ou désagréable – aura plus d'impact que les autres moments d'intensité plus modestes. Ce phénomène est appelé la règle pic-fin (peak-end rule) [175, 187].

Cette règle s'applique également au domaine de l'AP [186]. La réponse affective à l'exercice est conditionnée par deux moments au cours de la séance : le moment le plus intense de la séance et la fin de la séance. Une activité qui induit un pic d'intensité très élevée, et qui se termine sur une intensité d'exercice également élevée va avoir tendance à induire une réponse affective négative ce qui va laisser un mauvais souvenir dans la mémoire de l'individu [188]. A *contrario*, une activité dont le pic d'intensité ne dépasse pas le seuil de tolérance de l'individu (aux alentours du seuil ventilatoire 1), et qui se

termine sur une intensité modérée, va plutôt générer une réponse affective positive et va laisser un bon souvenir [188]. En outre, il a été mis en évidence que la durée de l'évènement n'a pas d'effets sur les affects (*« duration neglect »*) [189].

### 2.2.4. Approches basées sur la prescription *vs* approches basées sur la préférence

Dans le domaine de l'exercice physique, deux approches se distinguent concernant la manière d'appréhender la question des recommandations en matière d'AP [190]. Ces deux approches produisent des effets différenciés sur la réponse affective à l'exercice. D'un côté, il y a une approche descendante (top-down) et prescriptive qui se focalise sur les bénéfices physiologiques de l'exercice. Selon cette approche, chaque individu doit effectuer un certain niveau d'AP (caractérisé par une fréquence, une durée et une intensité) qui est imposé et qui est censé produire rapidement des effets positifs sur la santé et la condition physique. Les tenants de cette approche se fondent sur deux idées/croyances principales : 1) si l'intensité de l'exercice est trop faible, il ne sera pas efficace pour la santé (i.e., effet dose-réponse), et 2) la plupart des individus ont besoin d'une surveillance externe car ils ne possèdent pas les capacités d'autorégulation nécessaires. Cette approche est celle qui est la plus utilisée, mais elle connait une limite importante : ses effets délétères sur la motivation et l'adhésion à l'AP [191], comme en témoigne le taux massif d'inactivité physique (en France moins de 37% des adultes et moins de 32% des personnes âgées atteignent le niveau recommandé d'AP) [3]. En effet, en dépit des effets très positifs de ce programme d'entrainement sur le plan physiologique, celui-ci s'avère des plus inefficaces si les individus n'y adhèrent pas et l'abandonnent à cause de l'absence de plaisir et de motivation.

D'un autre côté, certains chercheurs mettent en exergue une approche qui se focalise davantage sur le maintien du comportement dans la durée, que sur l'obtention d'effets physiologiques rapides [196]. Cette approche, encore minoritaire, se focalise sur les préférences du pratiquant en donnant la possibilité aux individus de réguler eux-mêmes l'intensité de l'exercice afin de favoriser une réponse affective positive et de développer une motivation intrinsèque pour l'AP [191, 192]. La revue de littérature de Ekkekakis (2009) [190] montre que, contrairement aux idées avancées par les tenants d'une approche prescriptive, lorsque les individus ont la possibilité de réguler eux-mêmes l'intensité de l'exercice, ils choisissent une intensité supérieure au niveau

minimum recommandé par les organismes de santé (i.e., 64% de la fréquence cardiaque maximale, intensité proche du seuil ventilatoire 1). La croyance selon laquelle les individus doivent suivre une prescription n'est pas donc fondée sur la littérature [193, 194]. Il s'avère en outre que, lors d'un exercice d'intensité autorégulé, les pratiquants ont tendance à augmenter progressivement l'intensité de l'exercice au cours du temps, et que la perception de l'effort pour une même intensité objective, est moindre dans le cadre de cette modalité d'exercice que dans le cadre d'un exercice dont l'intensité est imposée. En définitive, il semble possible de concevoir des programmes d'AP qui induisent à la fois des effets physiologiques bénéfiques sur la santé et une réponse affective positive. En conséquence, une approche basée sur l'autorégulation de l'intensité n'est pas antinomique avec l'obtention d'effets physiologiques bénéfiques, et pourrait en outre favoriser l'adhésion à plus long terme à l'AP grâce à une meilleure réponse affective à l'exercice. L'étude de Rose et Parfitt (2007) [195] est emblématique de cette approche. Ils ont examiné les facteurs qui induisent la réponse affective positive au cours de l'exercice musculaire. Les résultats ont montré que la réponse affective était la plus positive quand l'individu pouvait moduler l'intensité d'exercice et l'interrompre quand il le voulait. Ces résultats ont été répliqués dans des études impliquant des personnes obèses, mais pas encore avec des personnes âgées.

### 2.2.5. Réponse affective chez la personne obèse et chez la personne âgée

Selon certains auteurs la sensation de déplaisir est un déterminant important de l'inactivité physique [196]. Cette réponse affective peut être également influencée par la masse corporelle et par l'âge. Mais, jusqu'à présent, très peu d'études ont examiné les réponses affectives à l'exercice des personnes en surpoids/obèses et des personnes âgées.

Dans l'une des études pionnières sur la réponse affective à l'exercice chez les personnes en surpoids/obèses, Ekkekakis et Lind (2006) [197] ont comparé la réponse affective de 16 femmes obèses à celles de 9 femmes normo-pondérées selon deux conditions d'exercice continu de 20 minutes sur tapis roulant : (1) exercice au cours duquel les participantes pouvaient faire varier l'intensité, et (2) exercice dont l'intensité était imposée par les expérimentateurs. Les principaux résultats de cette étude montrent que la réponse affective – mesurée à l'aide de la Feeling Scale (FS) [198] – des

personnes obèses est plus négative que celle des femmes non-obèses. Cela s'explique par le fait que, pour faire le même travail, les individus obèses ont besoin d'utiliser un pourcentage plus important de leur capacité maximale aérobie. En outre, la comparaison des deux conditions (intensité imposée vs. autorégulée) montre que chez les femmes obèses, la réponse affective est meilleure lorsque l'intensité est autorégulée que lorsqu'elle est imposée, et qu'il n'y a pas différences entre ces deux conditions expérimentales chez les femmes normo-pondérées.

Des résultats similaires ont été observés dans l'étude d'Ekkekakis et al. (2010) [199]. Parmi les 24 femmes qui ont participé à cette étude, 8 étaient en surpoids, 7 obèses et 9 normo-pondérées. Il s'agissait pour chacune d'elles de réaliser un exercice de course sur tapis roulant au cours duquel l'intensité était progressivement augmentée jusqu'à épuisement. La réponse affective était évaluée en mesurant les deux dimensions du modèle circomplex : (1) la valence à l'aide de la FS, et (2) le niveau d'activation avec la Felt Arousal Scale of the Telic State Measure [200]. Les résultats de cette étude montrent que la réponse affective à l'exercice des individus obèses diffère de celle des personnes normo-pondérées et en surpoids. Alors que chez les femmes normo-pondérées et en surpoids une diminution de la valence affective est observée quand l'intensité de l'effort dépasse le SV1, chez les femmes obèses, le niveau de plaisir diminue constamment depuis le début de l'exercice jusqu'à la fin de test. Des résultats similaires ont été obtenus dans une étude récente de Deker at al. (2017) [201], évaluant la réponse affective à deux modalités d'exercice (intermittent intense *vs* continu modéré). Chez 24 femmes obeses, la valence affective diminuait dès le début de chaque séance. Cependant, une réponse affective plus négative était observée au cours de la condition d'exercice intermittent intense.

Dans le contexte de l'exercice, les personnes obèses présentent un niveau de douleur, d'inconfort, de déplaisir et de fatigue plus élevé que les personnes normo-pondérées [197, 199] qui peuvent être à l'origine de ce déclin dans la réponse affective.

Chez la personne âgée, les études qui évaluent la réponse affective à l'exercice sont très rares. Dans cette population, le niveau d'adhésion à l'AP reste très bas [142]. Les raisons de ce faible niveau d'engagement sont multiples, mais peuvent être classées en deux catégories principales : (1) les facteurs physiologiques (i.e., problèmes de santé et/ou incapacités associées) [143], et (2) les facteurs psychologiques (i.e., faible estime

de soi, peur de chutes et de blessures, isolement, manque de plaisir) [143, 144]. La réponse affective négative (l'absence de plaisir) est citée comme une barrière à l'AP régulière également dans cette population, ce qui montre l'importance de ce paramètre dans le processus d'engagement dans l'AP. Dans son étude Focht et al. (2007) [202] ont évalué la réponse affective des 15 personnes âgées (64,2±6,5 ans) à l'exercice continue d'intensité modérée (20 minutes à 65% $\dot{V}O_{2max}$). La réponse affective à l'exercice était mesurée à l'aide de FS et les résultats montrent une diminution progressive de la valence affective dès le début de la séance.

Chez les personnes en surpoids/obèses de même que chez les personnes âgées, deux groupes de facteurs peuvent expliquer cette diminution de la réponse affective pendant l'exercice : (1) des causes physiques : perception d'effort respiratoire, sudation importante, douleurs musculo-squelettiques qui apparaissent pendant l'effort [203] ; et (2) des causes psychologiques : sentiment d'efficacité personnelle diminuée, image de soi peu valorisante, peur de symptômes physiques inhabituels et/ou inconnus [199]. La littérature montre que le fait de donner la possibilité aux participants de moduler l'intensité de l'exercice au cours de la séance permet d'atténuer cette baisse de la réponse affective à l'exercice. La théorie de l'autodétermination (TAD, [204, 205]) représente un cadre pertinent pour expliquer les mécanismes sous-jacents à ce phénomène.

### 2.2.6. La théorie de l'autodétermination

Au cours des 20 dernières années, la TAD s'est imposée comme un cadre théorique heuristique pour étudier la motivation pour l'AP [206, 207], et la réponse affective à l'effort [190].

#### TAD et réponse affective à l'effort

Parmi les théories contemporaines de la motivation, la théorie de l'autodétermination (TAD) se distingue par ses qualités explicatives et intégratives [205, 208]. La TAD conceptualise l'existence de trois besoins psychologiques fondamentaux – autonomie, compétence et proximité sociale – directement reliés au bien-être. Ces trois besoins sont considérés comme les nutriments essentiels au développement et au fonctionnement sain. Le besoin d'autonomie *« concerne le désir d'être à l'origine ou la source de ses propres comportements, plutôt qu'un « pion » contrôlé par des forces*

*extérieures »* [209] ; le besoin de compétence réfère *« au désir d'être efficace dans ses interactions avec l'environnement, d'exprimer ou d'exercer ses capacités et de surmonter les défis »* [209] ; et le besoin de proximité sociale se définit comme *« le désir d'être connecté à d'autres personnes, de recevoir des soins et de l'attention de personnes importantes pour soi, et d'appartenir à une communauté ou à un groupe social »* [209]. En outre la TAD prévoit que tout élément de l'environnement social qui nourrit les expériences d'autonomie, de compétence et de proximité sociale favorise le processus d'intériorisation, l'adoption de motivations autonomes, et le bien-être de l'individu. A *contrario*, dès que ces processus organismiques sont entravés, alors la motivation spontanée ou le bien-être de l'individu sont fortement altérés.

Dans le contexte de l'exercice, la TAD a été utilisée comme une théorie support permettant d'expliquer pourquoi l'approche basée sur l'autorégulation de l'intensité de l'AP produit des effets positifs sur la réponse affective par rapport à une approche basée sur une intensité de l'exercice imposée [190]. En effet, le fait d'offrir la possibilité au participant de réguler lui-même l'intensité de l'exercice participerait à satisfaire son besoin psychologique fondamental d'autonomie. Par contraste, le fait d'imposer l'intensité de l'exercice menace la satisfaction de ce besoin. En accord avec les propositions précédentes de Rose and Parfitt (2007) [195], plusieurs études ont montré que lorsque les participants ont la possibilité de choisir librement l'intensité d'exercice, la réponse affective est plus positive que lorsque l'intensité est imposée [197, 210]. Globalement, ces résultats montrent qu'en jouant sur les processus cognitifs responsables de la réponse affective – ici le sentiment d'autodétermination – il est possible d'améliorer cette dernière, notamment chez les personnes obèses. En outre, le soutien de l'autonomie favorise l'adhésion à l'AP à long terme et améliore le bien-être [211, 212].

### TAD et AP

Dans le cadre de la TAD, de nombreuses études interventionnelles et corrélationnelles ont mis en évidence les bienfaits de la motivation autonome pour l'AP. Contrairement à d'autres approches de la motivation qui envisagent cette variable uniquement d'un point de vue quantitatif, la TAD propose une approche plus qualitative, reconnaissant l'existence de différents types de motivation dont les conséquences affectives, cognitives et comportementales ne sont pas équivalentes. Les études

développées dans le cadre de la TAD ont en effet, mis en évidence l'existence de différents types de motivation ordonnés sur un continuum d'autodétermination (Figure 4). Ce continuum « est surtout destiné à organiser les différents types de régulation en fonction du degré avec lequel les comportements sont effectués volontairement, spontanément et librement » (le niveau d'autodétermination) [209]. Une motivation est dite « autodéterminée » quand l'activité est réalisée spontanément et par choix. À l'inverse, la motivation est « non auto-déterminée » quand l'individu réalise une activité pour répondre à une pression externe ou interne, et qu'il cesse toute implication dès que celle-ci diminue.

Dans le domaine du sport, de l'éducation physique et de l'exercice physique, les individus font preuve d'une motivation autodéterminée :

- quand ils s'engagent dans une AP pour des raisons intrinsèques à celle-ci, que ce soit pour le plaisir qu'ils ressentent en la pratiquant (motivation intrinsèque aux sensations), pour le sentiment de maîtrise qu'ils en retirent (motivation intrinsèque à l'accomplissement), ou pour la satisfaction d'apprendre quelque chose de nouveau (motivation intrinsèque à la connaissance) ;
- quand ils s'engagent dans l'AP parce qu'ils la considèrent comme quelque chose de cohérent avec leurs valeurs et besoins (motivation extrinsèque intégrée) ;
- quand ils s'engagent dans l'AP parce qu'ils la jugent importante pour atteindre des buts personnels (motivation extrinsèque identifiée).

Par contraste, les individus font preuve d'une motivation non-autodéterminée :

- lorsqu'ils s'engagent dans l'AP parce qu'ils s'y sentent obligés, généralement par des récompenses ou des contraintes matérielles et sociales (régulation externe) ;
- mais également à cause de pressions internes comme la culpabilité (régulation introjectée) ;
- ou lorsqu'ils sont résignés et ne perçoivent aucun lien entre leurs actions et leurs résultats (a-motivation).

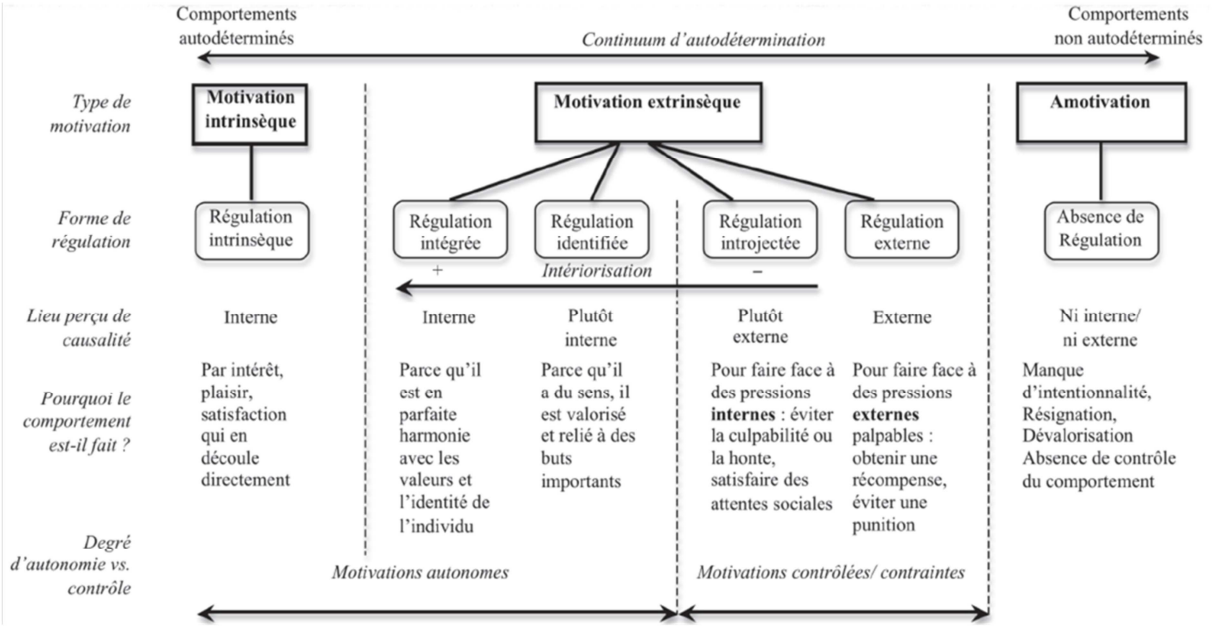



***Figure 4.*** *Caractéristique des différents types de motivation [209].*

Dans le domaine du sport, de l'éducation physique et de l'exercice physique, plusieurs études ont montré que la TAD offre des perspectives intéressantes pour favoriser l'engagement dans l'AP [213-215]. Une méta-analyse de Teixeira et al. (2012) [206] montre un rôle bénéfique de la motivation autodéterminée et indique que les régulations autonomes sont un bon prédicteur de la participation à l'AP et du maintien de ce comportement dans la durée. Il a été montré également que les régulations externes avec un niveau important d'intériorisation (régulation intégrée et identifiée) sont des facteurs importants pour l'adoption initiale de l'AP, par contre c'est la motivation intrinsèque qui est cruciale pour l'engagement à long terme à l'AP [206].

D'autre part, certaines études développées dans le cadre de la TAD [216, 217] ont examiné l'influence de différents climats motivationnels dans le traitement de l'obésité. Ces études montrent que les sujets qui ont bénéficié d'une intervention soutenant leurs besoins psychologiques fondamentaux (i.e., autonomie, compétence, proximité sociale) de la part du superviseur ont développé une motivation plus autodéterminée (i.e., investissement spontané et délibéré dans l'AP), ont participé plus régulièrement aux séances, ont perdu plus de poids et ont maintenu cette perte de poids dans le temps. L'écoute du patient, la prise en compte de son avis et de ses difficultés, la transmission des informations nécessaires, la possibilité de faire ses choix et de s'exprimer librement sont des comportements de superviseur qui conduisent à augmenter la confiance et qui favorisent l'émergence d'une motivation autodéterminée. En favorisant les expériences

qui nourrissent les besoins d'autonomie, de compétence et de proximité sociale d'un individu, le superviseur augmente l'engagement et la responsabilité vis-à-vis de comportements sains [215].

# DEUXIÈME PARTIE
# CONTRIBUTION PERSONNELLE

# OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

La revue de la littérature présentée ci-dessus montre clairement les nombreux effets bénéfiques de l'AP sur la santé. Cependant, le niveau d'AP de la population française reste toujours insuffisant, en particulier dans les populations vulnérables comme les personnes âgées et obèses. Ce travail doctoral a pour objectif d'examiner les effets de certains facteurs (physiologiques et psychologiques) responsables de la réponse affective à l'exercice et de l'adhésion durable à l'AP. Après une présentation des matériels et méthodes, la présentation des résultats s'organisera autour de quatre études empiriques dont les grandes lignes sont décrites ci-dessous.

Si L'AP régulière permet de maintenir le poids et de modifier favorablement la composition corporelle, différentes modalités d'exercices sont envisageables pour atteindre ces objectifs. Le choix d'une modalité d'exercice se fait souvent en fonction des bénéfices qu'elle induit. Certains chercheurs conseillent l'exercice continu d'intensité modérée pour favoriser l'oxydation lipidique et la diminution de la masse grasse. Mais l'exercice intermittent intense est également susceptible de favoriser l'oxydation des lipides, notamment dans les phases de récupération qu'elles soient actives ou passives. Nous avons mené une première étude physiologique, qui visait à examiner si une séance d'exercice combinée (exercice intermittent intense précédant l'exercice d'intensité modérée continu) peut modifier le métabolisme à l'exercice et notamment optimiser l'oxydation des lipides : *Exercice combiné et oxydation lipidique*.

Compte tenu de l'influence de l'AP sur la santé, mais aussi d'une faible adhésion à l'AP, il est important de prendre en compte les facteurs psychologiques responsables de la réponse affectives à l'exercice qui en retour influent sur l'adhésion durable et régulière à l'AP. Selon la littérature, une réponse affective positive à l'exercice est une variable clé qui favorise le maintien de l'AP. Il existe une relation forte entre l'intensité de l'exercice et la réponse affective : plus intensité est importante et plus les affects sont négatifs. Cependant, l'exercice intermittent intense est une forme d'exercice au cours de laquelle les périodes d'activité alternent avec les périodes de récupération active ou de repos. Jusqu'à présent, la majorité des recherches s'est focalisée sur l'exercice continu modéré ; peu d'études ont été consacrées à l'évaluation de la réponse affective au cours de l'exercice intermittent intense. Ainsi, dans une deuxième étude réalisée sur le terrain dans le cadre des Activités Physiques Adaptées nous avons évalué la réponse affective à

différents types d'exercices aigus chez la personne âgée : *Réponse affective à l'exercice chez la personne âgée*. Une troisième étude similaire a été réalisée en laboratoire pour évaluer la réponse affective à différents types d'exercice aigus chez le sujet sain et chez la personne en surpoids/obèse : *Réponse affective à l'exercice aigu chez la personne en surpoids/obèse*. L'objectif de ces deux études était d'évaluer la réponse affective à différents types d'exercice dans 2 populations vulnérables et peu enclines à faire de l'exercice régulièrement pour leur santé : la personne en surpoids/obèse et la personne âgée.

Enfin, dans le cadre d'une étude clinique, nous avons examiné les effets à court et à long termes d'un réentraînement à l'exercice que nous avons tenté d'optimiser d'un point de vue physiologique et psychologique (exercice intermittent d'intensité élevée avec soutien de l'autonomie) sur la condition physique, la santé cardiovasculaire et métabolique, la motivation envers l'AP et la réponse affective à l'exercice de la personne en surpoids/obèse : *Étude HYPINT*. Cette étude de recherche clinique n'est pas terminée. Nous en présentons ici les résultats à mi-parcours.

# 1. MATERIEL & METHODES

## 1.1.Mesures anthropométriques

- Poids : les volontaires ont été pesés en sous-vêtements, à ± 0,1 kg.
- Taille : les volontaires ont été mesurés pieds nus, à ± 0,1 cm à l'aide d'une toise.
- Tour de taille : le tour de taille était mesuré avec un mètre-ruban, les participants étant debout, en position anatomique. Mesuré sur un plan horizontal, le tour de taille est situé à mi-distance entre l'épine iliaque antéro-supérieure et le bord inférieur de la dernière côte.
- Tour de hanche : le tour de hanche était mesuré avec un mètre-ruban, les participants étant debout, en position anatomique. Le tour de hanche a été mesuré comme le périmètre le plus large au-dessus des fesses passant par les crêtes iliaques.

## 1.2.Epreuve d'effort maximale progressive

L'épreuve d'effort maximale progressive est une méthode d'évaluation complète de la fonction cardiorespiratoire à l'exercice. Cette épreuve permet de déterminer les indicateurs de la capacité fonctionnelle à l'effort : consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2pic}$), puissance maximale aérobie (PMA), et les seuils ventilatoires. De plus elle permet de fixer l'intensité de l'épreuve métabolique et donne une base pour la planification de l'entraînement.

L'épreuve d'effort maximale progressive a été réalisée sur cycloergomètre (Corvial, Lode B.V., Groningen, Pays Bas) jusqu'au maximum tolérable avec : mesure des échanges gazeux sur un ergospiromètre portable (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Allemagne), surveillance continue de l'ECG 12 pistes (Électrocardiographe 12 canaux Custo cardio 110 BT, Custo med GmbH, Ottobrunn, Allemagne), mesure continue de la $SaO_2$ et mesure de la pression artérielle à chaque minute (Figure 5). Toutes les deux minutes, les participants indiquent leur dyspnée et l'inconfort musculaire à l'aide d'une échelle visuelle analogique ou échelle EVA (cotation à 0 : pas de dyspnée/ fatigue, cotation à 10 : dyspnée/ fatigue maximale imaginable). A la fin du test, de la deuxième à la troisième minute de récupération, un micro-prélèvement sanguin est

réalisé en vue de déterminer la lactatémie (Lactate Plus®, Nova Biomedical Corporation, Inovation House, Watham, MA, USA).

***Figure 5.*** *Epreuve d'effort maximale.*

Cette épreuve consiste en un protocole d'intensité croissante : le test débute par 2 minutes de repos poursuivies par un premier palier de 2 minutes (30 W pour les femmes et 50 W pour les hommes), puis la puissance est augmentée de 15 W pour les femmes et de 20 W pour les hommes toutes les 2 minutes jusqu'à épuisement. Le participant doit maintenir une cadence de pédalage constante tout au long du test (entre 70 et 80 rpm). Lorsque la fin du test approche, si le participant n'arrive plus à maintenir la cadence (<60 rpm) le test est interrompu.

Le test est considéré comme maximal si :

- la FC atteinte en fin d'épreuve est proche de la FC maximale théorique (220-âge) ;
- le QR égal ou supérieur à 1,1 ;
- la lactatémie égale ou supérieure à 8 mmol.$L^{-1}$.

*Détermination des seuils ventilatoires*

Le seuil ventilatoire 1 (SV1) est déterminé visuellement selon les critères de Wasserman et al., 1987 [218]. Il correspond à une augmentation brusque et continue de la ventilation ($\dot{V}E$). Cela se traduit par une augmentation franche et continue de l'équivalent respiratoire pour l'oxygène ($\dot{V}E/ \dot{V}O_2$) alors que l'équivalent respiratoire pour le $CO_2$ ($\dot{V}E/ \dot{V}CO_2$) reste stable. Simultanément, on observe une augmentation

marquée de la pression partielle d'oxygène de fin d'expiration ($PETO_2$) associée à une stabilité de la pression partielle de fin d'expiration en $CO_2$ ($PETCO_2$).

Le seuil ventilatoire 2 (SV2, « seuil d'inadaptation ventilatoire ») correspond à un point au-delà duquel la participation du métabolisme anaérobie prend une importance croissante : une augmentation de $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ accompagnée d'une augmentation brusque de $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$. En même temps une diminution importante de $PETCO_2$ est observée, pendant que $PETO_2$ continue à augmenter.

*Détermination de la dyspnée et de l'inconfort musculaire*

Avant d'effectuer ces deux déterminations lors du test d'effort, nous avons présenté à nos sujets d'expérimentation notre définition de la dyspnée et de la fatigue musculaire comme suit : dyspnée - « *sensation désagréable pour respirer* » ; inconfort musculaire - « *difficulté perçue au niveau des membres inférieurs* ».

Ces perceptions subjectives ont été indiquées toutes les deux minutes à l'aide d'une échelle visuelle analogique (EVA) graduée de 0 à 10 (0 : pas de dyspnée ou de fatigue musculaire ; 10 : dyspnée ou fatigue musculaire maximale imaginable) en réponse aux questions standardisées suivantes : « *Comment ressentez-vous votre niveau d'essoufflement actuellement ?*» et « *Quelle est le niveau de l'inconfort que vous percevez au niveau musculaire ?*».

## 1.3.Epreuve d'effort métabolique

La calorimétrie indirecte (mesure des échanges gazeux) permet de déterminer le profil métabolique à l'effort [219] des participants. Pour déterminer le l'oxydation des substrats énergétiques (glucides, lipides), les sujets ont réalisé une épreuve métabolique. Cette épreuve est effectuée le matin à jeun sur un cycloergomètre (Corvial, Lode B.V., Groningen, Pays Bas) dans un environnement calme afin d'éviter toute hyperventilation qui perturberait la stabilité du quotient respiratoire (QR). L'épreuve ne démarre que si la valeur du QR de repos est inférieure à 0,85 attestant, que le sujet n'hyperventile pas [220]. Cette épreuve débute par 8 minutes de repos. Ensuite commence le premier palier de 3 minutes à 20% de la puissance maximale aérobie (PMA déterminée lors de l'épreuve d'effort maximal), suivi par 4 paliers de 6 minutes à 30%, 40%, 50% et 60% de la PMA. Ce test se termine par 10 minutes de récupération passive. Tout au long de l'épreuve la fréquence cardiaque est enregistrée (Capteur de fréquence cardiaque Polar H7, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). La mesure des échanges gazeux

est réalisée en continu grâce à un ergospiromètre portable (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Allemagne). La consommation d'oxygène et le débit de $CO_2$ rejeté, permettant le calcul de la quantité de glucides et de lipides oxydés, sont moyennés sur la dernière minute d'échauffement et la dernière minute de chaque palier.

Suite à ce test le point d'oxydation maximal des lipides ($Lipox_{max}$) ainsi que le taux d'oxydation maximal lipidique sont déterminées.

L'intensité à laquelle apparait $Lipox_{max}$ est calculée grâce à un programme conçu dans le logiciel Excel 2003 (Microsoft office, France) par l'équipe du laboratoire CERAMM (Pr J. Mercier ; Pr J.-F. Brun, Montpellier, France).

Le calcul de l'oxydation des glucides et des lipides est réalisé à partir de la méthode du QR non protidique qui néglige la participation des protéines à la production énergétique [219] :

- Oxydation glucidique ($mg.min^{-1}$) = $4.210 \times \dot{V}CO_2 - 2.962 \times \dot{V}O_2$
- Oxydation lipidique ($mg.min^{-1}$) = $-1.701 \times \dot{V}CO_2 + 1.695 \times \dot{V}O_2$

(avec $\dot{V}O_2$ et $\dot{V}CO_2$ en $mL.min^{-1}$).

Les débits d'oxydation sont ensuite convertis en Kcal à partir de l'équivalent calorique des glucides (4 $kcal.g^{-1}$) et des lipides (9 $kcal.g^{-1}$). Ceci permet de déterminer la contribution énergétique des glucides et des lipides (en %) à la dépense énergétique totale.

Le point d'oxydation lipidique maximal ($Lipox_{max}$) correspond à l'intensité d'exercice pour laquelle l'oxydation lipidique est maximale (taux d'oxydation lipidique maximal ou OLM). À partir de cette intensité, l'oxydation lipidique diminue alors que celles des glucides devient prédominante. Ce $Lipox_{max}$ est calculé à partir de l'équation :

$$\text{oxydation lipidique} = -1.701 \times \dot{V}CO_2 + 1.695 \times \dot{V}O_2$$

qui peut être simplifié en :

$$\text{oxydation lipidique} = 1.7 \times (1 - QR) \times \dot{V}O_2.$$

Cette équation permet de déterminer OLM qui est le maximum de cette fonction mathématique. Il correspond donc au point auquel la dérivée de cette fonction s'annule.

## 1.4.Composition corporelle par imagerie par résonnance magnétique (IRM)

L'IRM est une méthode de référence pour apprécier la composition corporelle incluant la masse maigre, la masse grasse et sa répartition régionale et notamment la masse grasse viscérale, un déterminant important du risque cardio-vasculaire.

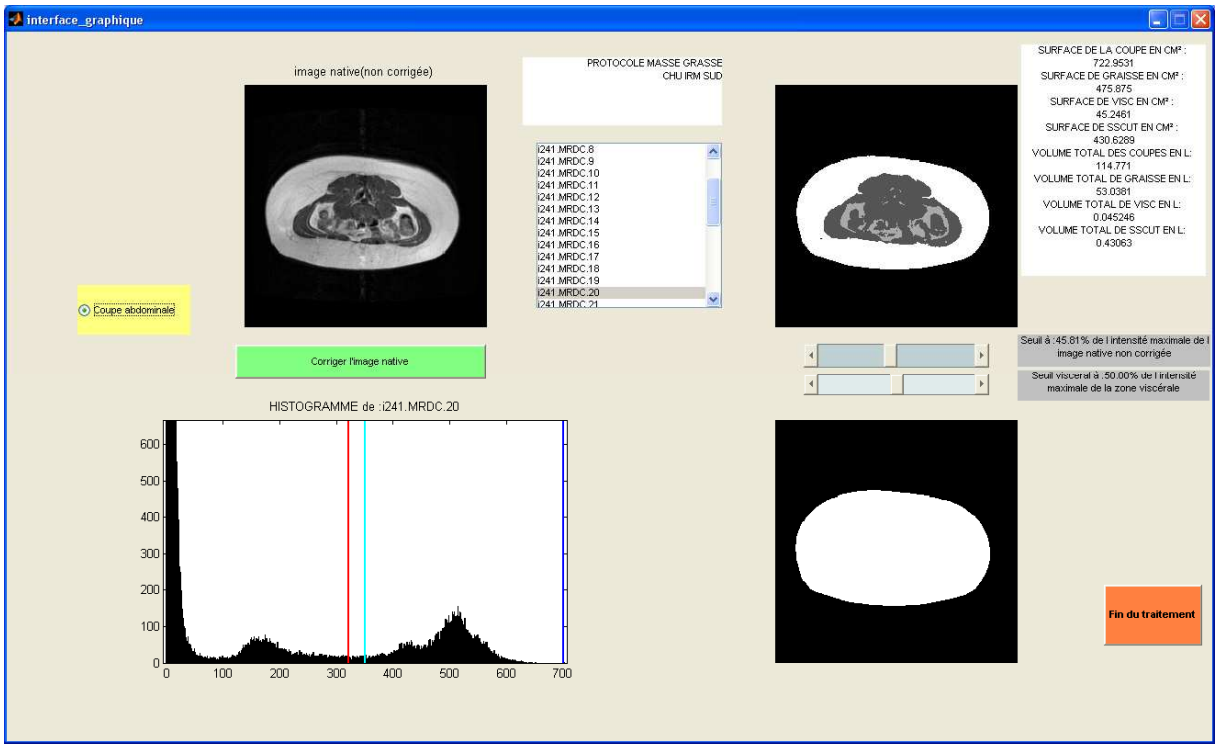



***Figure 6.*** *Analyse des images IRM - interface graphique.*

Ces mesures anthropométriques sont obtenues par un scanner Siemens 1,5 Tesla. La composition corporelle totale (masse grasse et masse maigre) est obtenue par imagerie axiale par spin-écho rapide de 210-ms de temps de répétition. Lors des mesures, le participant est couché sur le ventre, les bras en extension et les mesures de coupes de scanner sont effectuées des mains aux pieds. Afin de standardiser les profils des sujets, ces derniers étant de taille et de compositions corporelles différentes, l'échantillonnage a été divisé en trois sections corporelles. La première section correspond à une zone allant des talons jusqu'à la tête du fémur, la seconde zone part de la tête du fémur jusqu'au tronc et enfin, la dernière et troisième zone débute à la tête de l'humérus et se termine aux poignets en passant par la tête et les extrémités supérieures. Les images ainsi obtenues sont traitées par un programme spécifique (Matlab®, Mathworks, Inc.) développé par le service de radiologie du CHU Sud de Grenoble. Après élimination du bruit, la distinction entre les tissus maigres et gras est

réalisée par le niveau de luminosité (le niveau de luminosité le plus fort correspond au tissu adipeux). La graisse sous cutanée est incluse dans la quantification du tissu adipeux. Le volume des tissus gras et maigre est calculé en multipliant le nombre de pixels par la dimension de la surface et l'épaisseur de la coupe analysée (Figure 6).

## Recherche de stéatose hépatique d'origine non alcoolique

La méthode est fondée sur des approches de déplacement chimique [221] (Dixon). Les fréquences de résonance des protons de l'eau et de la graisse sont légèrement différentes de sorte que ces deux tissus sont périodiquement déphasés l'un par rapport à l'autre (toutes les 2,4 ms à 1,5 T). La méthode Dixon consiste à faire 2 acquisitions en écho de spin : la première, classique, pour laquelle les protons de l'eau et de la graisse sont en phase ; la deuxième dans laquelle l'impulsion de 180° est légèrement décalée de façon à ce que le maximum du signal survienne 2,4 ms plus tôt. On obtient ainsi un deuxième signal pour lequel les protons de l'eau et de la graisse sont déphasés. Par addition des deux signaux, on ne visualise que celui de l'eau ; par soustraction, on efface le signal de l'eau au profit de celui de la graisse. L'utilisation d'images acquises à deux temps d'écho, un TE1 où le pic de l'eau (4,7 ppm) et le pic dominant de la graisse (1.3 ppm) sont en opposition de phase (out of phase ou hors phase ou OP) et un TE2 où les deux pics de l'eau sont en phase (in phase ou IP). Puisque les deux échos sont acquis, ce type d'imagerie est souvent appelé 'dual phase' ou 'dual echo' imaging. Cette séquence est un outil robuste et fiable pour l'imagerie et la quantification de la stéatose à condition de prendre en compte l'ordre des TEIP et TEOP, la relaxation T2* et éventuellement « l'effet T1 parasite ».

Le développement séquentiel que nous avons mis en place sur notre scanner (Siemens Aera 1.5 T) a eu pour but d'optimiser ce type de séquence. L'effet « T1 parasite » est rendu négligeable en travaillant avec un angle de bascule faible (3°) et l'effet $T_2$* pris en compte et corrigé. En effet, la mesure du signal sur les séquences IP et OP s'effectue à deux temps d'échos différents. Entre ces temps d'échos, l'aimantation transversale des protons et des lipides continue de décroître selon une courbe exponentielle décroissante. De ce fait, si le $TE_{IP}$ est supérieur au $TE_{OP}$, la chute de signal en OP dû au déphasage des protons de l'eau et de la graisse peut être partiellement voir totalement compensée par la chute du signal IP du fait de la relaxation $T_2$*. Concrètement, si l'on néglige cet effet $T_2$*, il est possible de conclure par erreur à

l'absence de stéatose (cet effet étant d'autant plus important dans la mesure de stéatose modérée). Ces acquisitions sont suivies d'une analyse différentielle d'image. De ces éléments, il est possible de calculer la fraction du signal de la graisse de la façon suivante. L'intensité du signal des images 'Out of Phase' représente le signal de la graisse diminuée de celle de l'eau [$S_{Fat} - S_{Water}$] alors que les images 'In Phase', représentent la somme des deux signaux [$S_{Fat} + S_{Water}$]. Il est ainsi possible à partir de ce système d'équation à deux inconnues de calculer chacun des termes et déterminer le pourcentage de graisse hépatique. Il faut souligner pour des déterminations de précision que les deux échos sont acquis après la même excitation (acquisition 2D) et non des temps d'écho différents après deux excitations.

Cette équation est ainsi appliquée à une Région d'Intérêt (Region of Interest ou ROI, Figure 7) hépatique, en général le lobe gauche du foie. Une région d'intérêt (ROI) identique définie sur le parenchyme splénique (totalement dépourvu de graisse) sert de contrôle négatif.

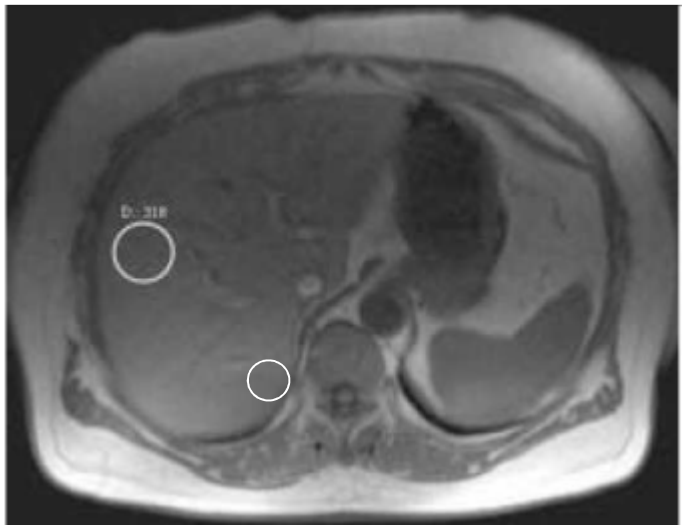


***Figure 7**. Exemple d'une Region d'inrérêt (ROI) située sur le foie pour évaluer la stéatose hépatique.*

## 1.5.Mesure de la réactivité vasculaire par tonus artériel périphérique (endoPAT)

La mesure du tonus artériel périphérique est réalisée à l'aide d'un endo-PAT 2000 (Itamar Médical, Caesarea, Israel). Deux sondes de pléthysmographie sont placées sur les index des deux mains. Chaque sonde est composée d'une membrane en latex placée dans un doigtier. La membrane est gonflée par un micro-compresseur intégré à

l'appareil et maintenu à une pression proche de la pression artérielle diastolique. Les sondes sont ainsi parfaitement adaptées au volume du doigt et permettent de mesurer les variations de l'amplitude de l'onde de pouls, qui sont un reflet des variations de volume sanguin capillaire. La mesure est réalisée après au moins 5 minutes en décubitus dorsal. Elle consiste en une ischémie de 5 min d'un des deux avant-bras par occlusion complète de l'artère brachiale grâce à l'inflation d'un brassard (60 mmHg au-dessus de la pression artérielle systolique avec un maximum de 300 mmHg). L'amplitude de l'onde de pouls est enregistrée, en continu des deux côtés pendant 15 min : 5 min avant occlusion, 5min pendant l'occlusion et 5 min après l'occlusion. L'index RH-PAT est calculé automatiquement par un logiciel (« logiciel intégré » Itamar Médical, Caesarea, Israel). Il s'agit du rapport entre la moyenne de l'amplitude de l'onde de pouls calculée entre la 90ème et la 120ème secondes après le relâchement de l'occlusion et la moyenne de l'amplitude de pouls des 210 secondes qui précédent l'occlusion. Afin d'éliminer un effet vasomoteur neurovégétatif systémique confondant, cet index est normalisé par rapport au côté controlatéral.

## 1.6.Mesure de la rigidité artérielle par vitesse d'onde de pouls (VOP)

Elle est appréciée par la mesure de la vitesse de l'onde de pouls (VOP). Il a été démontré que la VOP carotido-fémorale, reflet de la rigidité aortique, est un marqueur du risque cardiovasculaire. Elle est mesurée de façon non invasive à l'aide de deux capteurs de pression placés simultanément sur la peau en regard des artères carotide primitive et fémorale commune droites. La mesure est réalisée chez un patient en décubitus dorsal, au repos depuis quelques minutes. Chaque capteur enregistre l'onde de pression dans l'artère sous-jacente. L'intervalle de temps séparant le début de l'onde carotidienne de celui de l'onde fémorale correspondante (temps de transit carotido-fémoral) est mesuré de façon automatique (Complior®, Alam Medical, Saint Quentin Fallavier, France). La VOP est définie par le rapport entre la distance séparant les deux capteurs, mesurée par un mètre ruban, sur le temps de transit carotido-fémoral moyenné sur 10 battements.

## 1.7.Variables biologiques

Un échantillon sanguin veineux de 20 mL (4 tubes de 5 mL) est prélevé par une infirmière de l'UF de Recherche Clinique Exercice du CHU Sud afin de doser les éléments

suivants : insulinémie et glycémie (calcul de HOMA2-IR, HOMA2-%B, HOMA2-%S), profil lipidique, protéine-C réactive ultra-sensible. Les normes biologiques pour les paramètres mesurés sont montrées dans le Tableau 3.

Méthodes de mesure

La glycémie, la cholestérolémie et la triglycéridémie sont déterminées par spectrophotométrie par réflectance colorimétrique. L'insulinémie est déterminée par radio-immunologie IRMA (Bio Rad). L'insulino résistance est calculée grâce aux concentrations plasmatiques de glucose et d'insuline à jeun à l'aide du "homeostasis model assessment of insulin resistance", version 2 (HOMA2-IR) de 1998 (logiciel disponible à http://www.dtu.ox.ac.uk/) [222]. La protéine C-réactive ultra-sensible est mesurée par néphlométrie.

| **Normes** | |
|---|---|
| **Cholestérol Total** (g. $L^{-1}$) | 1,6 à 2,4 |
| **Triglycérides** (g. $L^{-1}$) | 0,35 à 1,25 |
| **HDL** (g. $L^{-1}$) | 0,35 à 0,75 |
| **LDL** (g. $L^{-1}$) | 1,2 à 1,7 |
| **CRP-us** (mg.$L^{-1}$) | < 5,0 |
| **Glycémie** (mmol.$L^{-1}$) | 4,2 à 6,0 |
| **Insulinémie** (µUI. $mL^{-1}$) | 2,0 à 15,0 |
| **HOMA2-IR** | < 1,0 |

***Tableau 3.*** *Normes biologiques.*

## 1.8.Dépense énergétique, oxydation des glucides et des lipides

La dépense énergétique totale (DE) induite par les séances est calculée à partir des échanges gazeux à l'aide des formules suivantes :

| **QR<1** [219] | **QR≥1** [223] |
|---|---|
| Taux d'oxydation des lipides (TOL) :<br>**TOG** (mg.$min^{-1}$) = 4.210× $\dot{V}CO_2$ – 2.962× $\dot{V}O_2$<br>Taux d'oxydation des glucides :<br>**TOL** (mg.$min^{-1}$) = –1.701× $\dot{V}CO_2$ + 1.695× $\dot{V}O_2$<br>(avec $\dot{V}O_2$ et $\dot{V}CO_2$ en mL.$min^{-1}$)<br>Energie fournie à partir de l'oxydation des glucides : TOG × 4 (kcal.$g^{-1}$)<br>Energie fournie à partir de l'oxydation des lipides : TOL × 9 (kcal.$g^{-1}$)<br>**DE (QR<1)** = somme des énergies délivrées à chaque minute par l'oxydation des glucides et celle des lipides | **DE** (kcal.$min^{-1}$) =<br>$\dot{V}O_2$ (mL.$min^{-1}$)×5,05 (kcal)<br><br>**DE (QR≥1)** = somme de toutes les dépenses énergétiques fournies exclusivement par l'oxydation des glucides |
| **DE totale** = DE (QR<1) + DE (QR ≥1) | |

## 1.9.Niveau d'activité physique

### Accélérométrie

L'accéléromètre que nous avons utilisé (Armband, Bodymedia inc, Pittsburg USA) est un appareil, fixé à un brassard, qui permet d'évaluer de façon objective le niveau de l'AP des participants grâce à la détection des mouvements. En l'absence de mouvements francs et détectables par l'accéléromètre (par exemple au cours d'un exercice sur ergocycle stationnaire), un capteur de température cutanée permet de tenir compte de la dépense énergétique à l'aide d'un logiciel spécifique (Innerview 5.0 Bodymedia inc, Pittsburg USA). Chaque participant garde le brassard sur une période d'une semaine. Cet accéléromètre porté également la nuit permet également d'apprécier l'efficacité du sommeil.

Cette méthode permet d'accéder à différentes variables :

- la durée du port quotidien de l'Armband en état de marche (heures)
- la durée quotidienne moyenne du sommeil (heures)
- la durée moyenne journalière passée en position allongée (heures)
- la dépense énergétique moyenne journalière (Calories)
- le nombre moyen de pas quotidien (n)
- la durée d'AP moyenne journalière (METs)
- l'intensité moyenne quotidienne de l'AP exprimée en METs.

## 1.10. Mesure des variables sociocognitives

L'échelle de mesure de la motivation situationnelle (EMS ; [224]) comprend 16 items répartis en 4 dimensions : la motivation intrinsèque (e.g., « *Je pratique cette AP parce qu'elle est vraiment plaisante* »), la régulation identifiée (e.g., « *Je pratique cette AP parce que c'est bon pour moi* »), la régulation externe (e.g., « *Je pratique cette AP parce je sens que je dois le faire* »), et l'a-motivation (e.g., « *Je ne sais pas pourquoi je pratique cette activité* » ; « *Je ne vois pas ce que cela me procure* »). Les réponses sont portées sur une échelle en 7 points allant de 1 (« *Ne me correspond pas du tout* ») à 7 (« *Me correspond très fortement* »).

La perception de la difficulté de l'effort : a été mesurée en utilisant l'échelle « Ratings of Perceived Exertion » (RPE ; [225]). La question posée est « *Comment est l'exercice ?* ».

Les réponses consistent en une cotation sur une échelle en 15 points allant de 6 (« *Exercice très très facile* ») à 20 (« *Exercice très très difficile* »).

La valence affective (perception des sensations plaisantes et déplaisantes) a été mesurée en utilisant «Feeling Scale» (FS, [198]). La question posée est : « *Comment vous sentez-vous ?* ». Les réponses consistent en une cotation sur une échelle en 11 points allant de -5 (« *Très mal* ») à 5 (« *Très bien* ») avec le 0 (neutre) situé au milieu de l'échelle.

La réponse affective à l'exercice a été mesurée avec la version françaises [226] de « The Activation-Deactivation Adjective Check List » (AD ACL, [227]), adaptée à l'AP par Ekkekakis et al. 2005 [228]. Cette échelle mesure les 4 composantes du « modèle circomplex » : (1) énergie (plaisir d'intensité élevée), (2) tension (déplaisir d'intensité élevée), (3) fatigue (déplaisir d'intensité basse) et (4) calme (plaisir d'intensité basse). Chaque dimension est décrite par 5 adjectifs vis-à-vis desquels le répondant se positionne en entourant l'une des 4 possibilités de réponse : « *Vraiment* », « *Légèrement* », « *Je ne sais pas* », « *Pas du tout* ».

La satisfaction du besoin d'autonomie : mesurée avec une version française [229] de Basic Need Satisfaction Scale [230]. L'échelle d'autonomie perçue est composée de 7 items (e.g., J'ai pu décider de la manière de faire l'exercice). Les réponses sont portées sur une échelle en 7 points allant de 1 (« *Ne me correspond pas du tout* ») à 7 (« *Me correspond très fortement* »).

L'intention : mesurée à l'aide de 3 items issus de Rhodes and Courneya (2005) [231] (e.g., « *au cours des deux prochaines semaines, j'ai l'intention de faire trois heures d'activité physique par semaine* »). Les réponses étaient portées sur une echelle en 7 points allant de (1) « *Très peu probable* » à (7) « *Très probable* ».

## 1.11. Mesure de la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque au cours de l'exercice a été mesurée par montre Polar A360 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) portée au poignet (*Etude de la réponse affective à l'exercice chez la personne âgée*) ou grâce à une ceinture thoracique Polar H7 et T34 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) - *Étude de la réponse affective à l'exercice chez la personne en surpoids/obèse* et *Étude HYPINT*.

## 1.12. Modalités d'exercice

*Étude 2 : Étude de la réponse affective chez la personne âgée*

Les participants ont réalisé 4 séances espacées d'une semaine. Chacune des 4 séances était composée de 5 séquences : un échauffement de 5 minutes, 3 paliers d'exercice de 6 minutes et un retour au calme de 5 minutes. Chaque palier d'activité proposé était composé de plusieurs séquences de 30 secondes de marche entrecoupées par 30 secondes d'exercice à faible impact (aérobics). La vitesse de la marche et le rythme de l'exercice à faible impact était modulé afin d'atteindre l'intensité d'exercice souhaitée.

Les modalités d'exercice sont les suivantes :

- S1 : exercice avec un pic d'intensité pendant le premier palier (au début de la séance)
- S2 : exercice avec un pic d'intensité pendant le deuxième palier (au milieu de la séance)
- S3 : exercice avec un pic d'intensité pendant le troisième palier (à la fin de la séance)
- S4 : les 3 paliers ont été réalisés à une intensité autorégulée par le participant.

Le pic d'intensité correspond à environ 85% de la fréquence cardiaque maximale ($FC_{max}$). La présentation des 4 conditions était randomisée afin de contrôler les éventuels effets d'ordre.

*Étude 3 : Étude de la réponse affective chez la personne obèse*

Les participants ont réalisé 3 séances d'exercice isocalorique sur un cycloergomètre (Corvial, Lode B.V., Groningen, Pays Bas) L'intensité d'exercice a été établie sur la base de la puissance maximale aérobie (PMA) définie pendant le test d'effort maximal progressif préliminaire.

Les modalités d'exercice sont les suivantes :

- Séance d'exercice intermittent de haute intensité avec puissance imposée. Cette séance est composée de 16 séries de 30 secondes de travail à la PMA entrecoupées de périodes de récupération passive (30 s).
- Séance d'exercice d'intensité modérée continu. Le temps d'effort pour cette séance a été calculé sur la base de la consommation d'oxygène totale mesurée pendant la séance intermittente intense avec la puissance imposée pour assurer

la même dépense énergétique. La puissance de cette séance était fixée à 50% PMA

- Séance d'exercice intermittent de haute intensité autorégulée par le participant. Pendant cette séance le participant choisissait la puissance des intervalles intenses (maintien, augmentation ou diminution) au moment de la récupération passive. La puissance totale de la troisième séance devait correspondre à la puissance totale de la première séance. Cette puissance totale a été calculée en faisant la somme des puissances de chaque palier.

Chaque séance était précédée de 2 minutes d'échauffement et suivie par 2 minutes de récupération active à 30% de PMA. La vitesse de pédalage pour les trois séances était fixée à 70-80 rpm. Pendant les deux premières séances l'expérimentateur a gardé une attitude la plus neutre possible vis à vis du participant ; notamment, il a évité toute discussion pour ne pas influencer ses réponses et ses émotions. Au cours de la 3ème séance l'intervenant a adopté une attitude soutenant l'autonomie des participants : il était à leur écoute, leur a demandé régulièrement si tout allait bien, a répondu à toutes les questions, et les incité à réguler l'intensité de l'exercice au gré de leurs sensations.

## 1.13. Modalités de réentraînement (*étude HYPINT*)

La prise en charge des 3 groupes recevant un entraînement à l'effort a consisté à leur proposer 3 séances hebdomadaires de réentraînement pendant 2 mois, incluant 2 min d'échauffement standardisé préalable (à 30% PMA) et 2 min de récupération active à la fin de séance (également à 30% PMA).

Les modalités d'entraînement étaient les suivantes :

- Entraînement à charge constante modérée (EIMC) sans soutien de l'autonomie. L'intensité d'exercice correspondait à 50% PMA.
- Entraînement intermittent intense (EII) sans soutien de l'autonomie : 30s - 1 min à puissance maximale aérobie – 30s - 1 min de récupération (durée de repos imposé).
- Entraînement intermittent intense (EII+SA) avec soutien de l'autonomie : 30s - 1 min à puissance maximale aérobie – de 30s à 2 min de récupération - durée du repos déterminée par le participant.

Dans les trois conditions de réentrainement la durée des séances a été augmentée de façon progressive (Tableau 4) et la durée et l'intensité de l'exercice ont été imposées

afin d'induire la même dépense énergétique dans les trois groupes. La charge de travail a été adaptée à chaque participant.

| | EIMC | EII | EII+SA |
|---|---|---|---|
| Semaine 1 (séance 1 - 3) | 32 min | 32×30s E/30s R | 32×30s E/30 à 120s R |
| Semaine 2 (séance 4 - 6) | 32 min | 32×30s E/30s R | 32×30s E/30 à 120s R |
| Semaine 3 (séance 7 - 9) | 34 min | 21×45s E/45s R | 21×45s E/45 à 120s R |
| Semaine 4 (séance 10 - 12) | 36 min | 16×60s E/60s R | 21×45s E/45 à 120s R, ou 16×60s E/60 à 120s R |
| Semaine 5 (séance 13 - 15) | 38 min | 16×60s E/60s R | 16×60s E/60 à 120s R |
| Semaine 6 (séance 16 - 18) | 40 min | 19×60s E/60s R | 19×60s E/60 à 120s R |
| Semaine 7 (séance 19 - 21) | 44 min | 22×60s E/60s R | 22×60s E/60 à 120s R |
| Semaine 8 (séance 22 - 24) | 44 min | 22×60s E/60s R | 22×60s E/60 à 120s R |

***Tableau 4.*** *Protocole de réentraînement (8 semaines, 24 séances) dans les trois groupes: EIMC, EII et EII+SA.*

A toutes les séances des conditions EIMC et EII, l'intervenant a maintenu une attitude neutre vis-à-vis des participants, en limitant les échanges. L'intervenant se tenait à l'écart et donnait seulement les consignes concernant la réalisation de la séance. Pour le groupe EII, il se contentait d'indiquer en plus le début et la fin de chaque palier d'exercice intense. En revanche, dans la condition EII+SA, l'attitude de l'intervenant vis-à-vis des participants a été bien différente : l'intervenant motivait et encourageait les sujets, tout en entretenant la conversation si le participant le souhaitait. L'un des objectifs de cette étude étant de comparer les séances isocaloriques, les participants de la condition EII+SA avaient la possibilité de moduler la durée des périodes de récupération mais pas la puissance, comme dans les études précédentes [195, 197]. Ainsi, l'organisation des 24 séances d'entraînement dans les trois conditions était plus facile et permettait de produire la même dépense énergétique pour toutes les séances.

Le groupe contrôle (C) a été exposé à la normoxie en situation de repos pendant 45 minutes 3 fois par semaine. Afin de développer chez les sujets du C l'impression d'être pris en charge (effet placébo), il lui a été précisé que cette exposition relevait d'un traitement spécifique de son surpoids/obésité. Cette condition a servi de contrôle pour les autres conditions.

Les mesures des variables socio-cognitives (motivation, valence affective, AD ACL, difficulté perçue, perception d'autonomie et intention) ont été effectuées au

cours, ou à l'issue, de la première, 12ème et 24ème séance. La valence affective (FS) a été mesurée six fois au cours d'une séance (avant et après échauffement, et 4 fois au cours de l'exercice) et la difficulté perçue (RPE) cinq fois : après échauffement, et 4 fois au cours de l'exercice. L'AD ACL a été administré avant la séance et à la fin de la séance. Les participants ont rempli le questionnaire de motivation deux fois pendant la première séance (avant et après la séance) et une fois après la séance 12 et 24. L'autonomie perçue et les intentions ont été mesurées après la première, 12ème et 24ème séance.

Après les 2 mois de prise en charge supervisée, soit les 24 séances, les participants ont reçu des consignes les invitant à maintenir une AP régulière à domicile en autonomie pendant une période de 4 mois (Annexe B et C).

# 2. RÉSULTATS

## 2.1. EXERCICE COMBINÉ ET OXYDATION LIPIDIQUE

L'AP régulière a de nombreux effets favorables sur la santé des personnes en surpoids/obèses. Pour permettre le maintien ou la perte du poids, 300 minutes d'AP d'intensité modérée par semaine sont recommandées. Cependant, un niveau très faible d'adhésion est observé dans cette population. L'EII a des effets bénéfiques comparables à l'EIMC. Il a aussi un impact sur le métabolisme : il permet une augmentation de l'oxydation des lipides et une diminution de niveau d'oxydation des glucides. Une combinaison de l'EII avec un EIMC à une intensité favorisant l'oxydation lipidique (50% de PMA pour des sujets sains) présente le potentiel de favoriser d'avantage l'utilisation des lipides. Dans la *Publication 1* nous avons examiné les effets de l'exercice combiné (EIMC précédé par EII) comparé à l'EIMC seul sur l'oxydation des lipides chez les jeunes adultes.

## - Publication 1 -

# A short bout of high intermittent exercise as a mean to potentiate fat oxidation during the subsequent moderate intensity prolonged exercise

**Diabetes and Metabolism** : *article en cours de soumission*


Résumé

Introduction : L'oxydation des lipides est un facteur important de prévention/traitement de l'obésité et de ses conséquences cardio-métaboliques. L'exercice musculaire permet de l'augmenter. Hormis l'exercice d'intensité modérée continu (MICE) connu pour cibler spécifiquement l'oxydation lipidique, l'exercice intermittent intense (HIIE) est récemment apparu comme une modalité efficace pour favoriser la perte de masse grasse. Nous avons fait l'hypothèse qu'une session d'HIIE courte préalable permet d'optimiser l'oxydation lipidique au cours de l'exercice d'intensité modérée continu prolongé faisant suite à cette session.

Objectif : Comparer les effets de l'exercice combiné (COMB: une session d'HIIE précédant une session de MICE) *vs* une séance isocalorique de MICE sur l'oxydation lipidique.

Méthodes : 18 sujets sains (23-25 ans) ont réalisé, dans un ordre aléatoire, deux séances d'exercice (COMB et MICE) séparées de 24 à 48 heures. MICE a consisté en 45-min d'exercice à 50% de la puissance maximale aérobie (Pmax). L'exercice combiné a consisté en cinq périodes de 1-min d'exercice à Pmax (entrecoupées par 1-min de récupération passive) suivies par 35-min de MICE. La mesure des échanges gazeux a été réalisée en continu afin de calculer le taux de substrats oxydés (technique du quotient respiratoire non protéique).

Résultats : La dépense énergétique et la quantité de lipides oxydés totales sont similaires entre les deux séances. Cependant, le taux d'oxydation lipidique ($g.min^{-1}$) est 1,5 fois plus important au cours de la session d'exercice combiné durant les 35-min de MICE. La contribution des lipides, à la dépense énergétique totale, est également plus importante au cours de la récupération passive qui suit COMB qu'après MICE.

Conclusion : La réalisation préalable d'un exercice intermittent intense de courte durée augmente (de 1,5 fois) le taux de lipides oxydés au cours d'un exercice d'intensité modérée continu prolongé. Ces résultats suggèrent que l'augmentation de la durée de ce type d'exercice dans la suite d'un exercice intermittent intense pourrait encore optimiser encore l'oxydation des lipides. Cet élément est tout à fait pertinent pour améliorer la santé métabolique des personnes obèses/en surpoids.

# A short bout of high intermittent exercise as a mean to potentiate fat oxidation during the subsequent moderate intensity prolonged exercise

Anna Borowik M. Sc. [1,2,3], Samarmar Chacaroun M. Sc[1,2,3] Damien Tessier Ph.D. [4], Stéphane Doutreleau [1,2,3], Samuel Verges Ph.D. [1,2,3], Patrice Flore Ph.D. [1,2,3]

[1] Univ. Grenoble Alpes, HP2, F-38000 Grenoble, France
[2] INSERM U 1042, HP2, F-38000 Grenoble, France
[3] CHU de Grenoble, HP2, Sports & Pathologies Medical Department, F-38000 Grenoble, France
[4] Univ. Grenoble Alpes, Laboratoire SENS, Grenoble, F-38000 Grenoble, France

Obesity is a worldwide global epidemic associated with major socio-economic burden and numerous health problems among which cardiometabolic diseases. The improvement of obesity and its consequences needs effective fat loss [1].

Fat oxidation is of prime importance to prevent and treat obesity and associated cardiometabolic dysfunctions [2]. Dieting or bariatric surgery are the major fat loss methods but aerobic exercise is recommended since it can increase fat oxidation [3] and preserve fat-free mass [4]. Several modes of training can help to increase this fat oxidation. Historically, long duration moderate intensity exercise training has been recommended to decrease fat mass. Hence, the ACSM initially recommended at least 5 hours/week of moderate intensity continuous aerobic exercise training [2]. But the impact of such programs on weight/fat loss are limited [5]. During the last decade, high-intensity intermittent exercise training (HIIE) has emerged as a time-sparing and efficient exercise modality to treat cardiometabolic morbidity associated with obesity [6]. Moreover, such modality of training has shown a greater time efficiency regarding fat loss whether in healthy [7] or obese/diabetic subjects [8-11]. However, in overweight and obese subjects HIIE modality is rarely compared with isocaloric continuous moderate exercise training [12] and acute fat oxidation not systematically assessed [13]. The mechanisms underlying the greater fat loss induced by HIIE are unclear but may involve appetite decrease [14] and increases in whole body and skeletal muscle capacity for fatty acid oxidation [15]. In addition, a larger excess in post exercise oxygen consumption associated with greater catecholamines levels and their effect on fat oxidation during recovery [7] may contribute to greater fat oxidation with HIIE [16].

Exercise programs at constant intensity eliciting maximal fat oxidation rate as proposed by Achten's group ('Fatmax'; [17]) or by Brun's group ('Lipoxmax'; [18]) are very efficient in decreasing body fat since they increase fat oxidation. In France, these programs, consisting in exercising at about 40-50% of maximal power output during 45-min to one hour have been advocated because they are well supported by deconditioned obese people with cardiometabolic disorders [19][20]. Furthermore, they restore the ability to oxidize fat which is often compromised in such populations [18]. To our knowledge the efficiency of this constant-load exercise training modality eliciting maximal fat oxidation has never been associated to the HIIE modality in order to combine the effects of both intervention and maximize fat oxidation.

The purpose of the present study is to assess the combination of two efficient acute exercises in order to optimize fat oxidation within the same single exercise session. We assessed during an acute exercise session the effect of an initial bout of HIIE on fat oxidation during a subsequent prolonged constant-load exercise performed at an intensity near Lipoxmax [18]. We hypothesized than an initial bout of HIIE would increase energy expenditure and especially fat oxidation during the subsequent prolonged constant-load exercise.

## 2. Methods

### *2.1. Subjects*

Eighteen healthy subjects (aged 23–25 years) volunteered to participate in the study (10 men and eight women). The study was conducted

according to the Declaration of Helsinki and after approval from the local Committee on Human Research. Written informed consent was obtained from all subjects, none of whom presented with any contraindications to prolonged or heavy exercise, or any diseases. The subjects, whose characteristics are presented in Table 1, were physical education students who were relatively physically fit and mostly recreational team sportsmen/sportswomen or cyclists, except for two competitive 100 and 400 meters runners.

The sixteen recreational athletes trained for an average of 3.5 ± 0.5 h/week, while the two competitive runners trained for 6.0 ± 0.5 h/week at the time of the study.

*2.2. Experimental design*

All subjects underwent a maximal progressive exercise test, on an electromagnetic cycle ergometer (Ergoselect, Medisoft, Dinant, Belgium), to assess their maximal aerobic power (Pmax), and their peak oxygen consumption ($\dot{V}O_{2peak}$). The test began at 40 W (3-min warm-up), and the power output increased by 20 W/min until exhaustion. Pmax was determined as the power output associated with the last completed stage. $\dot{V}O_{2peak}$ was assessed from continuously recorded gas exchange measurements (MetaMax 3B, Cortex Biophysik, Leipzig, Germany) and corresponded to the greater average value over 30-seconds of the last completed stage. The Pmax value determined during these maximal progressive tests served as the maximal reference to set the target exercise power outputs during the two experimental sessions.

At least 48h after the initial maximal exercise test, the subjects undertook two experimental exercise sessions on the electromagnetic cycle ergometer in a randomized order. Before the experimental sessions, the subjects were familiarized with the procedures and equipment. Exercise tests were always performed at the same time of the day (between 8:00 and 10:00 AM) after at least 12 h of fasting and under similar ambient conditions (20°C). Subjects were instructed to record their food and drink intake 24 h prior to the maximal exercise test and to repeat the exact same dietary pattern for all subsequent test sessions.

The two experimental sessions were conducted 24-48 h apart. They consisted of 45-min cycling leading in both cases to a total amount of work corresponding to constant-load cycling at 50% Pmax. The first experimental session consisted of 45-min constant-load cycling at 50% Pmax (Moderate Intensity Continuous Exercise or MICE). The second experimental session consisted of 10-min of intermittent exercise (five bouts of 1-min cycling at 100% Pmax interspaced by 1-min passive recovery) immediately followed by 35-min at 50% Pmax (combined modality, COMB). Both experimental exercise sessions ended with 5-min of passive recovery (sitting on the ergometer). Gas exchanges and heart rate were continuously recorded with a portable ergospirometer (MetaMax 3B, Cortex Biophysik, Leipzig, Germany).

*2.3. Substrate oxidation and energy expenditure*

Calculation of carbohydrate (CHO) and lipid oxidation rates was assessed from gas exchange measurements according to the non-protein respiratory quotient technique [21]:

CHO rate of oxidation ($mg.min^{-1}$) = $4.210\ \dot{V}CO_2 - 2.962\ \dot{V}O_2$;

lipid rate of oxidation ($g.min^{-1}$) = $-1.701\ \dot{V}CO_2 + 1.695\ \dot{V}O_2$ (with $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ in $L.min^{-1}$). The rate of energy expenditure was calculated using the following formula:

Energy expenditure ($kJ.min^{-1}$) = $16.318\ \dot{V}O_2 + 4.602\ \dot{V}CO_2$.

*2.4. Statistical analysis*

All parameters were expressed as means ± SD unless otherwise specified. According to their distribution, variables obtained during COMB were compared with those obtained during MICE using a two-way (exercise modality × time) repeated-measures ANOVA with repetition on the last factor. Upon finding a significant F-ratio, a Bonferroni post-hoc test was used to locate differences between the 2 exercise sessions. Significance was set at $p < 0.05$.

## 3. Results

*3.1. Subjects' characteristics*

Subjects' characteristics are presented in Table 1. No subject was overweight or obese.

Subjects presented heterogeneous fitness levels but based on their $\dot{V}O_{2peak}$ (135% of predicted values in average), they were all physically fit.

*3.2. Exercise intensity, total energy expenditure and substrate oxidation*

As expected, the total amount of work was similar between the two experimental exercise sessions (Table 2). Mean power output, average heart rate, $\dot{V}O_2$, RER, energy expenditure, total $\dot{V}O_2$, total CHO oxidation, total fat oxidation and total work were similar between the 2 trials, confirming they induced the same cardiac stress and they were isocaloric, i.e., they induced the same energy expenditure.

3.3 *Comparison of heart rate, energy expenditure, and substrate oxidation during the different phases of exercise trials*

According to the design of the COMB session, it appeared relevant to compare the data during the first 10-min (Phase 1), the last 35-min of exercise (Phase 2) and the 5-min of recovery.

$\dot{V}O_2$, energy expenditure and rate of energy expenditure did not differ between the two sessions (Figures 1A, B, C) whatever the phase considered. However, heart rate was slightly lower in Phase 1 and higher in Recovery in COMB compared to MICE (interaction exercise modality × time: $F$ (2, 30) = 22.27; $p < 0.0001$; Figure 1D). As shown in Figure 2A, RER was significantly greater for COMB compared to MICE in Phase 1, but lower for Phase 2 and R for COMB (interaction exercise modality × time: $F$ (2, 30) = 106.5; $p < 0.0001$; Figure 2A). Carbohydrate oxidation rate was greater in P1 and lower in R in COMB compared to MICE (interaction exercise modality × time: $F$ (2, 30) = 17.88; $p < 0.0001$; Figure 2B). When expressed as the energy contribution to total energy expenditure, CHO was greater in Phase 1 and lower in Phase 2 and Recovery in COMB compared to MICE (interaction exercise modality × time: $F$ (2, 30) = 29.59; $p < 0.0001$; Figure 3B). However, fat oxidation rate was lower in Phase 1 of COMB and greater in Phase 2 of COMB compared to MICE (interaction exercise modality × time: $F$ (2, 30) = 15.81; $p < 0.0001$; Figure 2C). When expressed as the energy contribution to total energy expenditure, fat oxidation was lower in Phase 1 and greater in Phase 2 and Recovery in COMB compared to MICE (interaction exercise modality × time: $F$ (2, 30) = 29.59; $p < 0.0001$; Figure 3B).

## 4. Discussion

The main finding of the present pilot study undertaken in healthy normal-weight subjects is that a short bout of HIIE at the beginning of a constant-load exercise induced a greater fat oxidation rate during the later prolonged exercise phase performed at 50% of maximal aerobic power (Pmax) compared to the same phase (lasting 35-min) of an isocaloric exercise session at 50% Pmax without initial HIIE. However, this greater fat oxidation rate did not result in greater total fat oxidation (in mg) when considering the whole exercise session. Indeed, the greater fat oxidation rate measured during the second phase (constant load cycling) of the COMB session was compensated by a lower one during the first phase (the first 10-min of HIIE) of COMB. Nevertheless, one could infer that prolonging the subsequent constant-load moderate intensity exercise following a short session of HIIE would result in a more efficient exercise session regarding total fat oxidation. In case the present findings would be confirmed in populations suffering of cardiometabolic disorders such as obesity or diabetes, such COMB modality could represent an attractive strategy to target fat burning during physical activity interventions.

***Features of combined exercise modality***

We designed a COMB exercise session targeting the same energy expenditure and the same total duration as a moderate intensity continuous exercise performed at 50 % Pmax, i.e., exercise intensity close to the one eliciting maximal fat oxidation rate [22]. We reached our goal since total oxygen consumption, energy expenditure and rate of energy expenditure were similar between the 2 trials (see Table 2 and Figure 1) either over the whole session or phase by phase. In addition, the average oxygen consumption, heart rates and RER did not significantly differ between the two exercise sessions suggesting a similar metabolic and cardiac constraint. Of note, cardiovascular during the HIIE phase of COMB (P1) was even lower compared to the corresponding phase of MICE. This is in agreement with previous observation in cardiac patients [23] and suggests such this kind of exercise modality is feasible in patients

since it does not tax the cardiovascular system more than traditional (moderate constant-load exercise) approaches. Few studies have compared differences in CHO and fat oxidation, between high-intensity intervals and isocaloric continuous moderate-intensity exercise [24]. Our study showed that despite similar total CHO and fat oxidation between the 2 trials, fat oxidation during the HIIE bout (Phase 1) of COMB was significantly lower but significantly higher in Phase 2 compared to MICE (see Figures 2C and 3B). Carbohydrate oxidation followed the opposite pattern (see Figures 2B and 3A). These results markedly contrast with those from a recent study [24] showing that 10 x 4-min intervals at 80 % $\dot{V}O_{2max}$ interspaced with 2-min recovery at nearly 10% $\dot{V}O_{2max}$, increase CHO oxidation and decrease fat oxidation compared to a MICE at 65% $\dot{V}O_{2max}$. The reasons for the discrepancy between Peake et al. (2014) [24] and our study are not clear but may hold to differences in protocol design, since for instance the subjects in the present study were in the fasting state contrary to those of Peake et al. (2014) [24]. Conversely, other studies reported results similar to the present results. Weltman et al. (1998) [25] showed that 30-min exercise at 70% $\dot{V}O_{2max}$ induced a higher fat utilization during the same exercise period performed 60-min after the first exercise bout [25]. In the present study, we also observed a greater fat oxidation during recovery since despite a lack of significant difference in fat oxidation rate in $g.min^{-1}$, RER was lower (see Figure 2A) and fat participation to total energy expenditure was greater (see Figure 3B). Here again, the available results in literature are contrasting. Some studies have found no difference in fat oxidation or respiratory exchange ratio after high-intensity exercise compared with moderate-intensity exercise [26] while others reported a greater fat oxidation and lower respiratory exchange ratio after high-intensity exercise compared with moderate-intensity exercise [27]. These discrepancies may reflect differences in exercise protocols (duration and intensity) and participant status (fasting state before exercise or training level). Of note, our results differed from those of Warren et al. (2009) [28] showing that the intermittent nature of exercise did not affect post exercise $\dot{V}O_2$, RER, or fat oxidation. But they are in agreement with those of MacGarvey et al. (2005) [27] showing a greater decrease in RER after a HIIE protocol close to that used in the present study (2-min work intervals at 90% $\dot{V}O_{2max}$, each followed by 3-min of relief at 30% $\dot{V}O_{2max}$). Hence, although it is unclear in the literature [29], our results confirm the possibility that differences in intensity and substrate metabolism during exercise translate to differences in energy expenditure during recovery from exercise. This remains to be confirmed especially during longer recovery phase.

Several mechanisms may explain the pattern of substrate oxidation rate during the COMB modality.

One may have expected a greater energy expenditure during Phase 2 of COMB (like an excess post exercise oxygen consumption or EPOC and so a lower efficiency) or during recovery. However, lack of difference in $\dot{V}O_2$, EE rate and total EE whatever the phase considered does not sustain this possibility. Hence alteration of fat oxidation cannot be related to an EPOC.

The results of the present study indicate a greater reliance on lipid oxidation in COMB after the short HIIE session which might have been due to greater non esterified fatty acid mobilization and muscle uptake during exercise [30]. Moreover, in the fasting state, the HIIE bout at the beginning of exercise session, inducing a greater reliance on CHO metabolism (see Phase 1 of Figure 2) might have induced a greater depletion in glycogen stores [31] and possibly a transient hypoglycemia, influencing the lipid metabolism [32].

Catecholamines and insulin lipid mobilization from adipose tissue play a major role in the control a lipolysis. Catecholamines stimulate and insulin inhibits lipolysis. A catecholamine response has been shown to be significantly elevated after high-intensity exercise [33] and has been considered as a factor explaining why HIIE is effective in reducing body fat. An increase in epinephrine has been observed at the end of HIIE only but not in MICE [24]. Such a pattern would be compatible with a greater lipolysis particularly if associated with a decrease in plasma insulin [34] promoted by epinephrine [35] and an increase in growth hormone and cortisol [36-38].

Of note total energy expenditure including recovery did not differ between the 2 trials. By virtue of the principle of energy conservation and in agreement with the way we have

designed the exercise protocols, the COMB trial did not alter the whole energy expenditure (see Table 2 and Figure 1).

***Significance of increase fat oxidation during the second phase of combined trial***

The present study reports the metabolic effects of this combination and provide original finding regarding a potential to increase fat oxidation rate. This finding is relevant for the health of overweight/obese persons especially with metabolic disturbances [18]. Furthermore, our results are very promising since fat oxidation rate is increased by approximately 1.5 fold during the last 35-min of COMB. This suggests that increasing the duration of subsequent moderate intensity exercise would increase fat oxidation even more. This remains to be explored however.

***Limits***

There are several limitations to the present study. We used indirect calorimetry, the most commonly used technique for assessing the balance between fat and carbohydrate (CHO) oxidation during exercise. However, its validity allows an accurate determination of fat and CHO oxidation at exercise intensities of up to 75% $\dot{V}O_{2max}$ [21]. Indeed, for high levels of ventilation (such as during the HIIE phase of the COMB session), $CO_2$ output may be artificially increased, affecting the quality of gas exchange and consequently the validity of substrate oxidation. This situation, attested by a RER greater than 1, occurred during HIIE soliciting 100% Pmax. In such conditions, it is admitted that CHO is the substrate exclusively oxidized. During the passive recovery phase, RER remained elevated but lower than 1. According to the hyperventilation following the preceding exercise bout, the CHO oxidation might have been overestimated. Since in Phase 2 we rather found a lower RER and greater fat oxidation, we do not think that this issue regarding the HIIE phase alters the main message of the present study i.e., a greater fat oxidation rate during the prolonged constant-load exercise following a previous bout of HIIE.

We did not measure the perceived exertion during COMB. Such a measure would have help to better characterize the effort required to the participants. The latter may be important to predict adherence of participants to this king of exercise. At last, this study has involved healthy subjects. Hence our results are not directly applicable to an obese population who is known to avoid exercise. The replication of our study in this population would help to evaluate the suitability of such exercise training.

At last, our results have been obtained in a fasting state. Hence, it would be interesting to repeat such study in a standardized feeding state.

**Conclusion**

The present preliminary study showed that a short previous high-intensity intermittent exercise induced a greater fat oxidation rate during a subsequent moderate intensity continuous exercise. Since we did not observe a greater total fat oxidation over the trial, increasing the duration of the subsequent moderate intensity continuous exercise may help to optimize total fat oxidation.

## References


1. Jakicic, J. and K. Clark, Coleman e, Donnelly Je, Foreyt J, Melanson e, et al. American College of Sports Medicin e position stand. Appropriate intervention strategies fo r weight loss and prevention of weight regain for adults. Med Sci Sports Exerc, 2001. 33(12): p. 2145-56.
2. Donnelly, J.E., et al., American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. Medicine and science in sports and exercise, 2009. 41(2): p. 459-471.
3. Ross, R., et al., Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in menA randomized, controlled trial. Annals of internal medicine, 2000. 133(2): p. 92-103.
4. Evans, E.M., et al., Effects of diet and exercise on the density and composition of the fat-free mass in obese women. Med Sci Sports Exerc, 1999. 31(12): p. 1778-87.
5. Boutcher, S.H. and S.L. Dunn, Factors that may impede the weight loss response to exercise-based interventions. Obes Rev, 2009. 10(6): p. 671-80.
6. Gibala, M.J., High-intensity Interval Training: A Time-efficient Strategy for Health Promotion? Current sports medicine reports, 2007. 6(4): p. 211-213.
7. Trapp, E.G., et al., The effects of high-intensity intermittent exercise training on

fat loss and fasting insulin levels of young women. International Journal of Obesity, 2008. 32(4): p. 684-691.
8. Mourier, A., et al., Mobilization of visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM. Effects of branched-chain amino acid supplements. Diabetes Care, 1997. 20(3): p. 385-391.
9. Gillen, J.B., et al., Interval training in the fed or fasted state improves body composition and muscle oxidative capacity in overweight women. Obesity, 2013. 21(11): p. 2249-2255.
10. Heydari, M., J. Freund, and S.H. Boutcher, The effect of high-intensity intermittent exercise on body composition of overweight young males. Journal of obesity, 2012. 2012.
11. Sawyer, B.J., et al., Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on endothelial function and cardiometabolic risk markers in obese adults. J Appl Physiol (1985), 2016. 121(1): p. 279-88.
12. Irving, B.A., et al., Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. Medicine and science in sports and exercise, 2008. 40(11): p. 1863.
13. Bartlett, J.D., et al., Matched work high-intensity interval and continuous running induce similar increases in PGC-1alpha mRNA, AMPK, p38, and p53 phosphorylation in human skeletal muscle. J Appl Physiol (1985), 2012. 112(7): p. 1135-43.
14. Boutcher, S.H., High-intensity intermittent exercise and fat loss. J Obes, 2011. 2011: p. 868305.
15. Talanian, J.L., et al., Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. J Appl Physiol, 2007. 102(4): p. 1439-1447.
16. Rebuffe-Scrive, M., et al., Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots of nonobese men and women. Metabolism, 1989. 38(5): p. 453-8.
17. Achten, J., M. Gleeson, and A.E. Jeukendrup, Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Medicine and science in sports and exercise, 2002. 34(1): p. 92-97.
18. Brun, J.F., et al., Metabolic training: new paradigms of exercise training for metabolic diseases with exercise calorimetry targeting individuals. Ann Readapt Med Phys, 2007. 50(6): p. 528-34.
19. Dumortier, M., et al., Low intensity endurance exercise targeted for lipid oxidation improves body composition and insulin sensitivity in patients with the metabolic syndrome. Diabetes & metabolism, 2003. 29(5): p. 509-518.
20. Bordenave, S., et al., Training-induced improvement in lipid oxidation in type 2 diabetes mellitus is related to alterations in muscle mitochondrial activity. Effect of endurance training in type 2 diabetes. Diabetes & metabolism, 2008. 34(2): p. 162-168.
21. Jeukendrup, A.E. and G.A. Wallis, Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. Int J Sports Med, 2005. 26 Suppl 1: p. S28-37.
22. Lazzer, S., et al., Optimizing fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. Clin Endocrinol (Oxf), 2007. 67(4): p. 582-8.
23. Guiraud, T., et al., High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. Sports Med, 2012. 42(7): p. 587-605.
24. Peake, J.M., et al., Metabolic and hormonal responses to isoenergetic high-intensity interval exercise and continuous moderate-intensity exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2014. 307(7): p. E539-52.
25. Weltman, A., et al., Repeated bouts of exercise alter the blood lactate-RPE relation. Med Sci Sports Exerc, 1998. 30(7): p. 1113-7.
26. Kuo, C.C., et al., Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. J Appl Physiol (1985), 2005. 99(1): p. 349-56.
27. McGarvey, W., R. Jones, and S. Petersen, Excess post-exercise oxygen consumption following continuous and interval cycling exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2005. 15(1): p. 28-37.
28. Warren, A., et al., Postexercise fat oxidation: effect of exercise duration, intensity, and modality. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2009. 19(6): p. 607-23.
29. Melanson, E.L., et al., Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. J Appl Physiol (1985), 2002. 92(3): p. 1045-52.
30. Stich, V., et al., Adipose tissue lipolysis is increased during a repeated bout of aerobic exercise. J Appl Physiol (1985), 2000. 88(4): p. 1277-83.
31. Metcalfe, R.S., et al., Physiological and molecular responses to an acute bout of reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT). Eur J Appl Physiol, 2015. 115(11): p. 2321-34.
32. Weltan, S.M., et al., Preexercise muscle glycogen content affects metabolism during exercise despite maintenance of

hyperglycemia. Am J Physiol, 1998. 274(1 Pt 1): p. E83-8.
33. Gratas-Delamarche, A., et al., Lactate and catecholamine responses in male and female sprinters during a Wingate test. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1994. 68(4): p. 362-6.
34. Wasserman, D.H., et al., Exercise-induced fall in insulin and increase in fat metabolism during prolonged muscular work. Diabetes, 1989. 38(4): p. 484-90.
35. Jarhult, J. and J. Holst, The role of the adrenergic innervation to the pancreatic islets in the control of insulin release during exercise in man. Pflugers Arch, 1979. 383(1): p. 41-5.
36. Arner, P., et al., Adrenergic regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise. J Clin Invest, 1990. 85(3): p. 893-898.
37. Del Corral, P., et al., Metabolic effects of low cortisol during exercise in humans. J Appl Physiol (1985), 1998. 84(3): p. 939-47.
38. Kanaley, J.A., et al., Acute exposure to GH during exercise stimulates the turnover of free fatty acids in GH-deficient men. J Appl Physiol (1985), 2004. 96(2): p. 747-53.

Tables

**Table 1. Subjects characteristics**

| | Female (n=8) | Male (n=10) |
|---|---|---|
| **Age and anthropometric measurements** | | |
| Age (year) | 22±1 | 24±2 |
| Height (cm) | 165±7 | 181±6 |
| Weight (kg) | 62±8 | 73±9 |
| BMI ($kg.m^{-2}$) | 22.7±1.7 | 22.4±2.4 |
| **Maximal incremental exercise test** | | |
| Maximal aerobic power (watt) | 196±47 | 270±78 |
| $\dot{V}O_{2peak}$ ($mL.min^{-1}$) | 2454±519 | 3278±859 |
| $\dot{V}O_{2peak}$ (% predicted) | 145±35 | 126±21 |

Data are expressed as mean ± SD. BMI: Body Mass Index; $\dot{V}O_{2peak}$: peak oxygen consumption.

**Table 2. Exercise intensity and total energy expenditure**

| | MICE (n=18) | COMB (n=18) |
|---|---|---|
| Mean power output (watt) during the trial | 116.5±23 | 116.5±23 |
| Average Heart rate ($beat.min^{-1}$) | 140±19 | 137±17 |
| Average $\dot{V}O_2$ ($L.min^{-1}$) | 1.60±18 | 1.60±19 |
| Total cumulative $\dot{V}O_2$ (L) | 72±0.40 | 72±0.43 |
| Average RER | 0.93±0.06 | 0.96±0.07 |
| Total CHO oxidation (g) | 72.4±25.2 | 72.5±25.5 |
| Total fat oxidation (g) | 9.4±7.4 | 9.1±7.4 |
| Rate of EE ($kJ.min^{-1}$) | 33.6±8.5 | 33.8±9.1 |
| Total work (kJ) | 1974±368 | 2012±448 |

Data are expressed as mean ± SD. $\dot{V}O_2$: oxygen consumption; RER: Respiratory Exchange Ratio; CHO: carbohydrate; EE: energy expenditure.

Figures

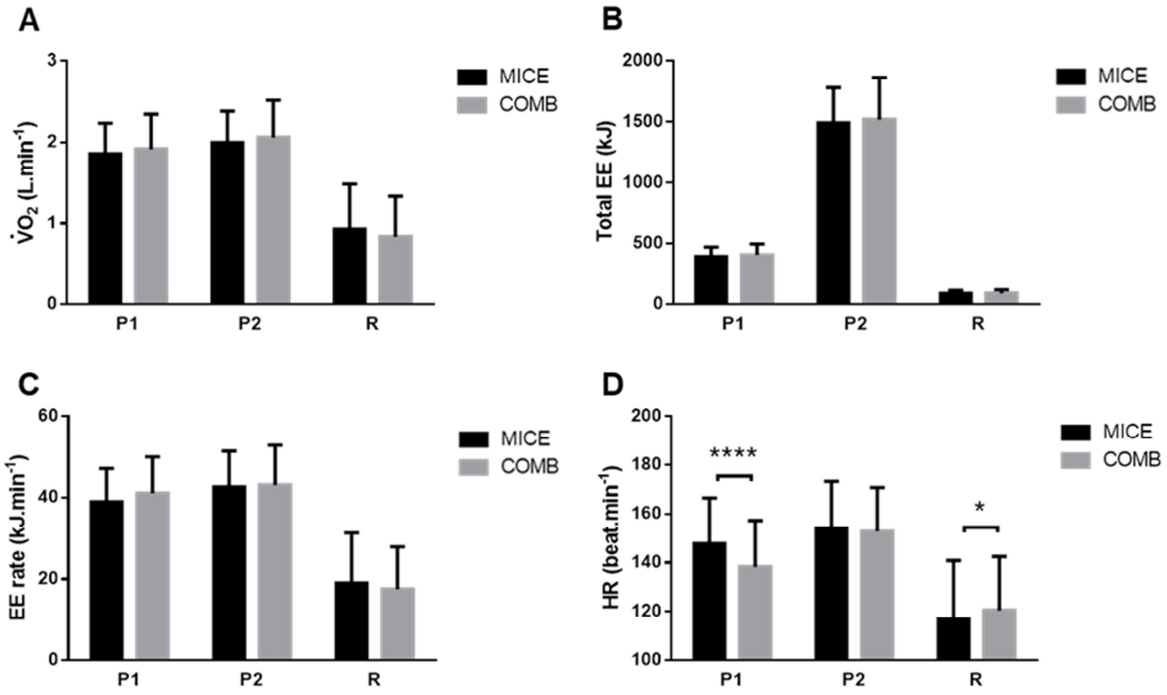



**Figure 1**. Mean ± SD of $\dot{V}O_2$ (A), total energy expenditure (B), rate of energy expenditure (C), and Heart Rate (D) in MICE and COMB (see text for abbreviation). Significantly different between MICE and COMB: **** $p < 0.0001$; * $p < 0.05$; $\dot{V}O_2$: oxygen consumption; EE: energy expenditure; HR: heart rate; P: Phase 1; P2: Phase 2; R: recovery.

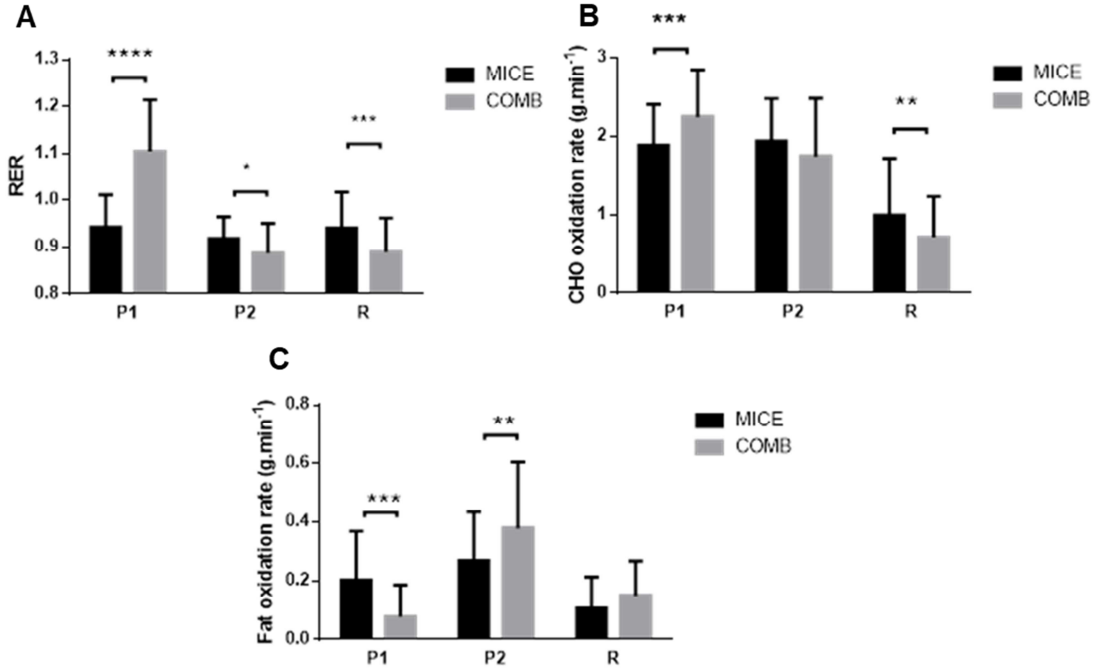



**Figure 2**. Mean ± SD of RER (A), CHO oxidation rate (B), fat oxidation rate (C) in MICE and COMB (see text for abbreviation). Significantly different between MICE and COMB: **** $p < 0.0001$; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; RER: Respiratory Exchange Ratio; CHO: carbohydrate; EE: energy expenditure; P1: Phase 1; P2: Phase 2; R: recovery.

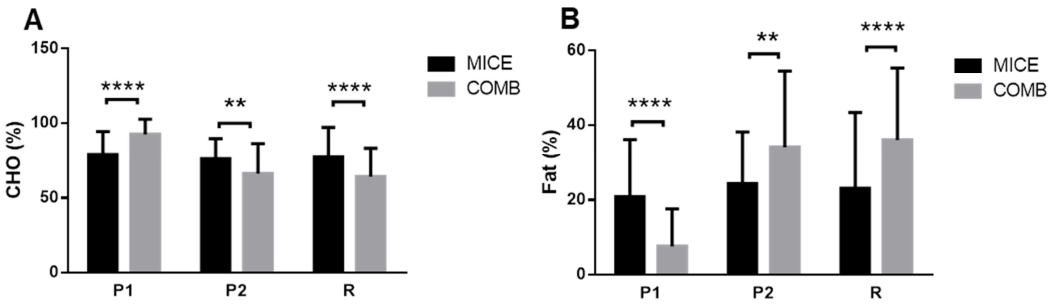



**Figure 3**. Mean ± SD of the contribution in % to total energy expenditure of CHO (A), and fat (B) in MICE and COMB (see text for abbreviation). Significantly different between MICE and COMB: **** $p < 0.0001$; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; RER: Respiratory Exchange Ratio; CHO: carbohydrate; EE: energy expenditure; P1: Phase 1; P2: Phase 2; R: recovery.

## 2.2. RÉPONSE AFFECTIVE À L'EXERCICE CHEZ LA PERSONNE ÂGÉE

Le nombre de personnes âgées a connu une hausse ces dernières années en raison d'une amélioration de l'espérance de vie. Le vieillissement est associé à une altération des capacités physiques (endurance, force, équilibre) et des capacités cognitives, ainsi qu'à une prévalence plus importante des maladies chroniques et leurs facteurs de risque. L'AP régulière a des effets bénéfiques sur toutes ces variables et permet de retarder la perte d'autonomie. Cependant, la majorité des personnes âgées adopte un style de vie sédentaire et reste insuffisamment active. La réponse affective à l'exercice est l'un des facteurs qui déterminent l'adhésion à long terme à l'AP. Le maintien d'une AP est moins probable quand la réponse affective est plus négative. Cette réponse affective dépend : de l'intensité d'exercice, du moment au cours de la séance auquel le pic d'intensité arrive (début, milieu ou fin de la séance), de la possibilité d'autoréguler l'intensité. L'objectif de cette étude (*Publication 2*) était donc d'examiner les effets de quatre modalités d'exercice (i.e., le pic d'intensité de l'effort au début (S1), au milieu (S2) et à la fin (S3) de la séance, et la possibilité d'autoréguler l'intensité de l'exercice (S4)) sur la réponse affective à l'effort chez la personne âgée.

## - Publication 2 -

# Effect of exercise intensity peak and slope, and self-selected intensity on affective response to exercise in older adult women

**Psychology and Aging** : *article soumis* (Manuscript number: PAG-2017-1307)

Résumé

Introduction : Une diminution des capacités physiques et mentales, ainsi qu'une augmentation de la prévalence et du risque cardio-métabolique sont associées au vieillissement. L'activité physique (AP) a des effets bénéfiques sur la santé des personnes âgées. Cependant, le niveau d'adhésion à l'AP est très faible dans cette population. Une réponse affective positive lors d'un exercice aigu est un facteur pouvant favoriser l'engagement durable à l'AP. D'autre part, l'intensité d'exercice ainsi que le pic d'intensité au cours d'une séance peuvent influencer cette réponse affective à l'exercice. Nous avons fait l'hypothèse d'une part que la séance d'intensité autorégulée (S4) produira la réponse affective la plus positive, alors que la réponse la plus négative sera obtenue au cours d'un exercice avec un pic d'intensité en fin de séance (S3). D'autre part, nous formulons la seconde hypothèse suivante : la réponse affective post-exercice (mesurée par Activation-Deactivation Adjective Check List, AD ACL) sera comparable entre toutes les conditions.

Objectif : Evaluer les effets de 4 modalités d'exercice sur la réponse affective à l'exercice de la personne âgée : pic d'intensité au début: S1, au milieu: S2 et à la fin de l'exercice: S3, intensité autorégulée: S4.

Méthodes : 34 personnes âgées (55 - 75 ans) ont réalisé quatre sessions d'exercice. Chaque session était composée d'un échauffement (5-min), de trois paliers d'exercice (6-min chacun) et d'une période de récupération active (5-min). La fréquence cardiaque, la réponse affective à l'exercice (Feeling Scale, FS) et la difficulté perçue (Ratings of Perceived Exertion, RPE) ont été mesurées au début et à la fin de chaque session, mais aussi après chaque palier de 6-min. La réponse affective a également été appréciée par AD ACL au début et à la fin de chaque séance.

Résultats : La réponse affective à l'exercice (FS) diminue progressivement dans toutes les conditions. Cette réponse ainsi que la difficulté perçue sont comparables entre S1, S2 et S4. Cependant, au cours de la séance S3 (pic d'intensité à la fin de l'exercice), la réponse affective est plus négative et la difficulté perçue plus importante par rapport aux autres conditions. La mesure de l'AD ACL ne montre aucune différence significative entre les conditions post-exercice.

Conclusion : Chez les personnes âgées la réponse affective diminue progressivement dès le début de l'exercice. Elle dépend du moment d'apparition du pic d'intensité. La valence affective est plus négative quand l'intensité augmente et notamment quand son pic apparaît en fin de séance. Cependant, l'impact négatif de l'intensité peut être atténué quand le pic d'intensité apparait au début ou au milieu de la séance ou quand l'intensité est autorégulée.

# Effect of exercise intensity peak and slope, and self-selected intensity on affective response to exercise in older adult women

Anna Borowik[1, 2], Damien Tessier[3], Baptiste Fournier[4], Patrice Flore[1, 2]

[1]Université Grenoble Alpes, Laboratoire HP2, Grenoble, F-38042 France
[2]INSERM, U1042, Grenoble, F-38042 France
[3]Université Grenoble Alpes, Laboratoire SENS, F-38000, Grenoble, France
[4]Université de Montréal, Département de kinésiologie, Montréal, Canada

Aging is a natural process that cannot be stopped. It is associated with the increased prevalence of some diseases (e.g., heart disease, diabetes, cancers, osteoporosis), and diseases risk factors (e.g., hypertension, obesity, hypercholesterolemia) (Chodzko-Zajko et al., 2009; Lakatta, 2003; R. J. Shephard, 1997). Moreover, aging is responsible for the decline in functional capacities (e.g., endurance, strength, balance, flexibility) (Chodzko-Zajko et al., 2009; Masoro, 1995) and for the limitations in every-day living tasks (e.g., stairs climbing, rising from a chair or bed, take a bath, tie the shoes) (Daley & Spinks, 2000). The decline in maximal aerobic capacity ($\dot{V}O_{2max}$) and in muscular power are one the main age-related deteriorations responsible for the difficulties in every-day tasks (Holloszy & Kohrt). Regular physical activity (PA) car however, help in attenuating such a decline. There is growing evidence that PA have beneficial effects on age-related decline in functional and cognitive capacities (i.e., physical fitness, balance, muscle size and strength), and on diseases and diseases risk factors (Chakravarty, Hubert, Lingala, & Fries, 2008; Chodzko-Zajko et al., 2009; Cress et al., 1999; Hawkins, Kramer, & Capaldi, 1992; Middleton, Mitnitski, Fallah, Kirkland, & Rockwood, 2008; Moul, Goldman, & Warren, 1995; Spirduso & Cronin, 2001). These health benefits allow preventing or retarding the decline in health parameters and facilitate to maintain an independent lifestyle and higher quality of life (Acree et al., 2006; Berger, 1989; McAuley & Rudolph, 1995; Rejeski, Brawley, & Shumaker, 1996). For example, it was established that the aerobic capacity of 13-14 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ is needed to live an independent life and any increase of 4-6 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ can delay the dependency for 6-7 years (R. Shephard, 1991). The recent PA guidelines for older adults (> 65 y.o.) recommend to carry out at least 150 min per week of moderate intensity PA, that can be accumulated throughout the day by 10-min bouts (Anses, 2016; Nelson et al., 2007).

Nevertheless, elderly people are less likely to engage in regular PA (Chodzko-Zajko et al., 2009). In Europe, only 30% of adults over 55 years old participate regularly in structured exercise and sports, and 43% engage in other activities (e.g., walking, cycling, gardening) (Eurobarometer, 2014). The reasons for this low participation rates in elderly are mainly twofold, some are related to physiological reasons (i.e., health problems and/ or associated disabilities) (Clark, 1999), and others are associated with psychological factors (e.g., low self-esteem, fear of fall and injuries, isolation, attitudes toward PA, pleasure from PA) (Clark, 1999; Lee, Arthur, & Avis, 2008). Among these psychological factors, pleasure is a central parameter that can facilitate or thwart the long term PA engagement (Rhodes & Kates, 2015). According to hedonist approaches, the affective response (pleasure vs. displeasure) to one behavior moderates future decision to engage in that behavior (Kahneman, Fredrickson, Schreiber, & Redelmeier, 1993). This hedonist principle has been partially confirmed in a recent review of Rhodes & Kates (2015). They showed that whether affective response during exercise was positively correlated with future PA (ranging from $r$ = .51 to $r$ = .18), the affective response at the end of exercise was not correlated with future PA engagement. Thus, in the perspective to increase regular PA participation in elderly, the present study focused on affective response during exercise, and aimed at examining specifically parameters that could improve it. The analysis of the literature shows that three main parameters influence the affective response during exercise: the intensity of exercise, the

pattern of the intensity slope, and the self-selection of exercise intensity.

**The effect of exercise intensity on affective response**

To explain the underlying mechanisms of affective responses to exercise, Ekkekakis developed the Dual-Mode Theory (DMT; Ekkekakis, 2003; Ekkekakis, Hall, & Petruzzello, 2005). This approach is called *dual mode* as it is assumed that affective responses to exercise are the products of the continuous interplay between two general factors, namely interoceptive cues (e.g., dyspnea, fatigue, musculoskeletal pain) and cognitive parameters (e.g., exercise significance, goals, self-esteem, self-image). According to the DMT (Ekkekakis, 2003; Ekkekakis et al., 2005), the intensity of exercise plays a crucial role in the affective response: (1) low intensities (below ventilatory threshold, VT) result with rather positive affective response; (2) the affective response to the intensities at VT is heterogeneous – pleasant for some and unpleasant for others; (3) high intensities (above VT) produce negative responses (Ekkekakis, Hall, & Petruzzello, 2008). A growing body of research supports the tenets of the DMT, however few studies exist in the population of older adults (see Ekkekakis, Parfitt, & Petruzzello, 2011). For example, in the study by Katula, Blissmer, & McAuley (1999), 80 older adults ($M_{age}$ = 67.06) from a randomized controlled exercise trial completed the State Anxiety Inventory prior to and just following light, moderate and high-intensity exercise. Results confirmed the DMT showing that anxiety was reduced following the light intensity condition, no significant changes in anxiety occurred following the moderate-intensity condition, and anxiety increased following the high-intensity condition. Concerning specifically the case of moderate-intensity exercise, the study of Focht, Knapp, Gavin, Raedeke, & Hickner (2007) involved 15 sedentary, healthy, non-obese older adults (64.2±6.5 years old) to perform one 20-min exercise session at 65% of their $\dot{V}O_{2peak}$. The affective valence was measured by Feeling Scale three times: before, at 10$^{th}$ minute and at the end of the exercise. In the evaluated sample of older adults, the authors report negative shift in affective valence from the beginning of exercise, meaning that in elderly moderate PA is associated with a progressive displeasure.

Another tenet of DMT is that an exercise that induced a decline in pleasure during the bout will be followed by a positive affective rebound once finished (Ekkekakis et al., 2008). This issue has been specifically examined in a study of Rose & Parfitt (2007) who evaluated the affective response of 19 middle-aged women to four exercise sessions that was different in terms of intensity (four 20-min exercise sessions: one at self-selected intensity, and three imposed intensity sessions with intensity: below, at and above ventilatory threshold). The results were in line with the DMT showing that the post-exercise affective response returned to the level observed at the beginning of the session in all four conditions despite the differences in the exercise intensity. Thus, the affective response measured after the exercise is not a good indicator to discriminate exercise conditions.

**The effect of the intensity slope on the affective response to exercise**

Even if intuition perhaps suggests that the entire exercise session should be made more pleasant to improve the affective response to exercise, research shows that not all aspects of an episode are equally influential in shaping the affective memory of that episode. According to the peak- and end-rule (Fredrickson, 2000; Kemp, Burt, & Furneaux, 2008; Schreiber & Kahneman, 2000; Stone, Schwartz, Broderick, & Shiffman, 2005), two specific moments during exercise tend to influence more strongly the affective memory: the peak of affective response during exercise and the affects at the end of the exercise bout. In other word, the moment of exercise at which the peak intensity appears can result in a change of pleasure – displeasure slope. In the exercise context, a recent study has shown that people prefer exercise experiences during which pleasure slope increases over time (i.e., peak of pleasure at the end) rather than a decreasing pleasure slope (i.e., peak of pleasure at the beginning) (Zenko, Ekkekakis, & Ariely, 2016). In this study, Zenko et al. (2016) evaluated the affective valence and perceived exertion in the response to two exercise sessions of similar physiological demands: one with increasing exercise intensity and the other with the highest exercise intensity at the beginning. The results showed that, in 46 healthy individuals aged between 18 and 40 years, the exercise with the decreasing exercise intensity produced the increase in affective valence and a decrease in

perceived exertion, whereas the session with increasing intensity has the opposite effect: decrease in pleasure with the higher exertion level.

**The effect of self-selected intensity on affective response to exercise**

Contrary to the mainly used prescription-based approach, the preference-based approach, where the participant can self-regulate the exercise intensity, has been shown to be an important parameter that improves affective response during exercise (Ekkekakis, 2009). When asked to self-select an exercise intensity, most individuals tend to gravitate towards an intensity that approximate their ventilatory threshold because, as posits by the DMT (Ekkekakis, 2003; Ekkekakis et al., 2005), this intensity would allow them to maintain a stable and positive affective state. The effect of self-selected intensity on affective response has been examined in a study that aimed at comparing the affective responses when participants self-selected their intensity during a 20-minute bout of treadmill exercise and when the speed was imposed and exceeded the self-selected level by just 10% (Lind, Ekkekakis, & Vazou, 2008). Results revealed that rating of pleasure using the Feeling Scale remained positive and stable during the bout at self-selected intensity but showed a continuous and significant decline during the bout at imposed intensity. One limit of this study is that it could not discern whether the affective decline was due the fact that exercise intensity was imposed (i.e., the loss of self-selection) or to the increase intensity, even by a minor amount. One hypothesis to explain the self-selected effect on affective response is based on the self-determination theory (SDT; Ryan & Deci, 2017), which posits that offering choice to self-regulate the intensity of exercise would contribute to satisfy the basic psychological need for autonomy which, in turn is directly related to a greater intrinsic motivation and well-being. In contrast, imposing a level of intensity on the participants would thwart the autonomy satisfaction and undermine the affective response to exercise. To disentangle possible confound effect of autonomy satisfaction/thwarting and of the level of exercise intensity, Vazou-Ekkekakis & Ekkekakis (2009) designed a study to examine whether the loss of perceived autonomy alone (i.e., in the absence of a difference in intensity) would be sufficient to produce a less positive affective experience. In this study, 19 college-age women (age 20.63 years) completed two 30-minute bouts of treadmill exercise. During the first, they could self-select the treadmill speed (autonomous condition), and during the second, the speed was set by the experimenter but, unbeknown to the participants, was identical to what the participants had self-selected (controlled condition). Consistent with the SDT hypothesis, following the controlled condition, the participants reported lower levels of enjoyment and perceived choice (i.e., two components of intrinsic motivation), as well as attenuated pre to- post increases in perceived energy, compared with the autonomous condition. This confirms that having the choice to self-regulate the exercise intensity is an important parameter to improve affective response to exercise.

**Purpose of the study**

To our knowledge, no previous studies to date investigated the combined effects of these three parameters (i.e., exercise intensity, intensity slope, and self-selection of exercise intensity) on affective response to exercise in older adults. Thus, the purpose of this study was to compare the effect of four exercise conditions (i.e., intensity peak at the beginning (S1), intensity peak in the middle (S2), intensity peak the end (S3) of the bout, and self-selected intensity (S4)) on affective response to exercise in older adults.

Based on the tenets of the DMT, the peak-and end-rule, and the SDT, we hypothesized that during exercise: (1) the self-selected session (S4) will produce the most positive affective response compared to three other sessions with imposed intensities; (2) the S1 exercise will result in a more positive affective response than S2 and S3 conditions; (3) the most negative affective response will be observed during S3 session, (4) the S2 condition will be perceived as more pleasant than S3 but more unpleasant than S1. In addition, in line with the DMT, we expected no difference in the change of pre to post-exercise affective response between conditions.

**Methods**

**Participants**

Thirty-four independent (i.e., living in their own household with no major help and disabilities) older women aged between 55 and 85 years (mean age: 70.0 ± 9.5 years)

from three different exercise groups (i.e., 11 to 12 participants in each group) participated in this study. The participants were recruited in the area of the middle size city located in South East of France, where they participate regularly in exercise program destined to older adults and proposed by the communities. The recruitment was performed by phone or by e-mail (depending on individual contact preferences) from the association's contact lists. To limit the missing data, the main exclusion criteria were irregular attendance to the exercise program. The study was approved by the university Ethics Committee, and each participant signed a statement of informed consent, in which they have been informed about all the benefits and risks of the study. In addition participants were informed that they can leave the study at any moment without undergoing any prejudice.

**Experimental design and exercise sessions**

The exercise sessions were performed in place where the subject usually participated in their exercise program. The exercise sessions were standardized and the usual educator was accompanied by one investigator to ensure that all the sessions were conducted in the same way. Every participant performed 4 exercise sessions one week apart. The 4 proposed exercise sessions were the following: three exercise sessions with imposed intensities – (1) with the intensity peak at the beginning of the session (S1); (2) with the intensity peak at the end of the session (S3), (3) with the intensity peak in the middle of the session (S2), and (4) session based on exercise at self-selected intensity (S4). The order of sessions was randomized in each group. Before the 4 exercise sessions all participants performed one habituation session to be familiarized with the exercises, the psychological measures and the heart rate monitor.

Every session consisted on: 5 minutes of warm-up, 3 exercise bouts of 6-minutes of exercise and finished with 5 minutes of cool-down at low intensity. The highest intensity (peak intensity) was fixed at 85% of maximal theoretical heart rate. During the exercise bouts, the participants moved freely occupying all the space in the gymnasium alternating 30-second walking periods and 30-second periods of dynamic strengthening / aerobics exercise (e.g., "jumping jacks"). The walking speed and the rhythm of the exercises were modulated by the educator in order to target a particular exercise intensity (based on heart rate). The heart rate was used as a manipulation check. Every participant self-monitored the intensity throughout the sessions. The affective response during exercise was assessed using three indicators: the affective valence during exercise was measured using the Feeling Scale, the difficulty of the exercise was measured using Ratings of Perceived Exertion scale, and the affective response before and after exercise was measured using The Activation – Deactivation Adjective Check List. During exercise, the measurements were taken 4 times: after warm-up, after 1st, 2nd and 3rd bout. The participants completed The Activation – Deactivation Adjective Check List at the beginning and at the end of each session. Every participant was equipped with a notebook where the measures were self-reported.

**Measurements**

**Heart rate.** The intensity of exercise was based on heart rate measured on a wrist with Polar watch A360 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland).

**Perceived exertion.** The difficulty of exercise was measured using the single item Rating of Perceived Exertion scale (RPE) (Borg, 1998) – a 15-point scale ranging from 6 (*"no exertion at all"*) to 20 (*"maximal exertion"*). The question asked was: *"What is your level of exertion at this moment?"*

**Feeling Scale.** The single item 11-point bipolar Feeling Scale (FS) (Hardy & Rejeski, 1989) was used to assess the affective valence (i.e., pleasure-displeasure). The participants answered the question: *"How are you feeling at this moment?"* The scale ranges from -5 (*"very bad"*) to +5 (*"very good"*) with 0 (*"neutral"*) in the middle.

**The Activation - Deactivation Adjective Check List.** The French version (Clodore, Benoit, & Foret, 1986) of the 20-item The Activation –Deactivation Adjective Check List (AD ACL; (Thayer, 1989)) was used. This questionnaire contains five items in each of the four subscales (i.e., Energy: high-activation pleasure, Calmness – low-activation pleasure, Tiredness: low-activation displeasure, Tension: high-activation displeasure). Each item was rated in a four-point scale (i.e., *"definitely feel"*; *"feel slightly"*; *"cannot decide"*; *"definitely do not feel"*).

**Statistical analysis**

To compare the effect of each condition on FS, RPE and ADACL across time, we conducted multilevel analyses, using SPSS version 18.0.02. (SPSS Statistics, IBM Corp., Armonk, NY). This analytical strategy is more appropriate than ordinary least squares models (e.g., analysis of variance) because, due to nesting of time measurements within participants, the possibility of dependencies in the data was raised (Bryk & Raudenbush, 1992). Another strength of multilevel analyses is that it handles varying measurement occasions (e.g., when the duration of exercise sessions are non-equal in time) in longitudinal data more efficiently than repeated measures analysis of variance (Muth et al., 2016). Data were treated as a two-level hierarchical model (i.e., the measurement occasions at level 1, and participants at level 2).

Following the strategy suggested by Singer and Willet (2003), several models were tested. In a preliminary step, an unconditional model (model 1) was tested – with only an intercept and no explanatory variables – to partition the variance of each dependent variable into within-individual and between-individual component. In step 2, the variable time was included in an unconditional linear growth curve model (model 2) as a fixed parameter. In step 3, predictors were added: the conditions and the interaction term time × condition.

For FS and RPE, to provide a scale for time that fit the data best, the time was clocked on the sessions and was centered on a hypothetical pre-session measurement. As mentioned above, each of 4 sessions was composed of 4 measurement occasions, thus, the first measurement taken after warm-up was coded 0.25 (i.e., 1/4 of the first session), the second one 0.50 (i.e., 1/2 of the first session), the third one was coded 0,75 (i.e., 3/4 of the first session), and the last one was coded 1. The four measurements of the second session were coded 1.25, 1.5, 1.75 and 2, respectively, and so on, until the fourth measurement of the fourth session. For ADACL, two measurements (i.e., pre- and post-) were carried at each session. Thus, the pre- and post-session measurement were coded 0 and 1; 1,1 and 2; 2,1 and 3; and 3,1 and 3 for the four sessions, respectively.

To examine the effect of the four conditions, we computed three sets of three orthogonal contrasts (Judd, McClelland, & Ryan, 2008). In the first set, the first contrast compared the S4 with S1, S2 and S3 (using 3, -1, -1, -1, respectively, for S4, S1, S2 and S3), and was labelled "S4 vs. S1-S2-S3, the other contrasted S1 with S2 and S3 (using 0, 2, -1, -1, respectively, for S4, S1, S2, S3), labelled S1 vs. S2-S3, and the third contrast compared S2 with S3 (by using 0, 0, 1, -1, respectively, for S4, S1, S2, S3), labelled S2 vs. S3. In the second set, the first contrast compared S3 with S2, S1 and S4 (using 3, -1, -1, -1, respectively, for S3, S2, S1 and S4), and was labelled "S3 vs. S2-S1-S4; the next contrasted S2 with S1 and S4 (using 0, 2, -1, -1, respectively, for S3, S2, S1, S4), labelled S2 vs. S1-S4, the last contrast compared S1 and S4 (by using 0, 0, 1, -1, respectively, for S3, S2, S1, S4), labelled S1 vs. S4. In the last set, the first contrast compared S2 with S3, S1 and S4 (using 3, -1, -1, -1, respectively, for S2, S3, S1 and S4), and was labelled "S2 vs. S3-S1-S4, the next one contrasted S3 with S1 and S2 (using 0, 2, -1, -1, respectively, for S4, S3, S1, S2), labelled S3 vs. S1-S1, and the third contrast compared S1 with S2 (using 0, 0, 1, -1, respectively, for S4, S3, S1, S2), labelled S2 vs. S3.

To compare models, -2 log likelihood (i.e., likelihood ratio test/deviance test; (Heck, Thomas, & Tabata, 2014)), was used, with lower values indicating better model fit. Because of space restrictions, only model 1 and 3 are presented in the tables. The effect sizes were calculated using the formula proposed by Feingold (2013): $d=(b_{time\times group} \times \text{duration}) / SD_{\text{raw}}$, where $b_{time\times group}$, is the difference in rate of change between conditions per unit of time, duration is the length of the study, and $SD_{\text{raw}}$ is the standard deviation of raw scores based on data from the first wave of measurement.

To examine whether the heart rate pattern of the participants corresponded to the intensity pattern designed in each condition (i.e., the manipulation check), multilevel growth models were performed. More specifically, four separated quadratic models were conducted as the pattern of S1 and S2 were supposed to be non-linear. Data were treated as a two-level hierarchical model in which only time and time$^2$ were included as predictors.

**Results**

**Preliminary Analyses**

Descriptive statistics of heart rate, RPE and FS are presented in table 1. Results

showed that HR was ranged between 94 and 129 (62-86% of maximal theoretical heart rate). RPE ranged between 7.2 and 12.1, remained moderate in each of the four sessions. And, FS remained in a positive state (i.e., between 3.8 and 2) during each of the four sessions. In addition, the statistical assumptions associated with multilevel models were checked by exploring the residuals in the full conditional models. Results indicated relative normality in the distribution of the residuals and no extreme outliers.

**Heart rate manipulation check**

Results of growth models showed (see table 2), for S1 a significant main effect of both time ($b$ = 140.13, $p$ < .001) and time$^2$ ($b$ = -102.80, $p$ < .001), meaning that the pattern of heart rate was not linear over time. For S2, result revealed also a significant main effect of time ($b$ = 166.05, $p$ < .001) and time$^2$ ($b$ = -109.85, $p$ < .001). For S3, only the main effect of time ($b$ = 43.38, $p$ < .05) was significant, meaning that the pattern of heart rate increased linearly over time in this condition. For S4, result revealed a significant main effect of time ($b$ = 85.39, $p$ < .001) and time$^2$ ($b$ = -46.80, $p$ < .01). As showed in figure 1, during S1 the peak of heart rate appeared after the first bout of exercise, during S2 the peak was observed after the second bout, during S3 the heart rate increased linearly from the beginning of the session, and for S4 the heart rate increased slightly during the first bout of exercise and then plateaued.

**Perceived exertion**

Results (see table 3) showed a significant main effect of Time ($b$ = 3.58, $p$ < .001), meaning that the RPE increased progressively across time. Moreover, the analysis revealed a significant main effect of Condition: S4 vs. S1-S2-S3 ($b$ = -1.67, $p$ < .01), S1 vs. S2-S3 ($b$ = 2.22, $p$ < .001), S2 vs. S3 ($b$ = -3.57, $p$ < .001), S3 vs. S2-S1-S4 ($b$ = -1.37, $p$ < .001), S4 vs. S1-S2 ($b$ = -3.20, $p$ < .001), S1 vs. S2 ($b$ = 1.56, $p$ < .01), S2 vs. S3-S1-S4 ($b$ = 1.01, $p$ < .01), S3 vs. S1-S4 ($b$ = -1.56, $p$ < .01), and S1 vs. S4 ($b$ = -5.58, $p$ < .001), meaning that, in average, the RPE was different between condition. In addition, results revealed a significant interaction effect of Time × S2 vs. S3 ($b$ = .82, $p$ < .05,), Time × S3 vs. S2-S1-S4 ($b$ = .36, $p$ < .05), Time × S3 vs. S1-S4 ($b$ = .44, $p$ < .05,). There was no significant interaction effects of Time × Condition for S4 vs. S1-S2-S3 ($b$ = -.02, ns), for S1 vs. S2-S3 ($b$ = -.23, ns), for S4 vs. S1-S2 ($b$ = .15, ns), for S1 vs. S2 ($b$ =.07, ns), for S2 vs. S3-S1-S4 ($b$ = -.19, ns), and for S1 vs.S4 ($b$ = .19, ns). All together these results mean that across time the score of RPE was not significantly different between S1, S2 and S4, but the S3 was higher than the other conditions.

**Feeling Scale**

Multilevel analysis revealed (see tables 4) a significant main effect of Time ($b$ = -1.43, $p$ < .001), meaning that the FS decreased across time. Moreover, results revealed also significant interaction effects of Condition: S1 vs. S2-S3 ($b$ = -1.11, $p$ < .001), S2 vs. S3 ($b$ = 2.10, $p$ < .001), S3 vs. S2-S1-S4 ($b$ = .92, $p$ < .001), S4 vs. S1-S2 ($b$ = 1.15 $p$ < .01), S2 vs. S3-S1-S4 ($b$ = -.48, $p$ < .5), S3 vs. S1-S4 ($b$ = 1.13, $p$ < .01), and S1 vs. S4 ($b$ = 2.03, $p$ < .01). Non-significant effect of Condition was observed for S4 vs. S1-S2-S3 ($b$ = .46, *ns*) and S1 vs. S2 ($b$ = -.62, *ns*). In addition, results revealed a significant interaction effect of Time × Condition for S2 vs. S3 ($b$ = -.52, $p$ < .05), for S3 vs. S2-S1-S4 ($b$ = -.27, $p$ < .01), and for S3 vs. S1-S4 *(*$b$ = -.36, $p$ < .01). There was no significant interaction effect Time × Condition for S4 vs. S1-S2-S3 ($b$ = .04, *ns)*, for S1 vs. S2-S3 ($b$ = .24, *ns*), for S4 vs. S1-S2 ($b$ = -.07, *ns*), for S1 vs. S2 ($b$ = .11, *ns*) for S2 vs. S3-S1-S4 ($b$ = .08, *ns*) and for S1 vs. S4 ($b$ = -.16, *ns*). All together these results mean that FS decreased in the same way across time during S1, S2 and S4, and that this decrease was less important than during S3.

**Activation-Deactivation Adjective Check List**

Results (see table 5) of multilevel analysis revealed no significant main effect of both Time and Condition, and a no significant interaction effect Time × Condition in each subscales (A+: Energy, DA+: Calmness, DA-: Tiredness, A-: Tension) meaning that the different exercise conditions did not affect the participants' affective response measured at the beginning and at the end of each session.

**Discussion**

Affective response to exercise plays a crucial role in future exercise behaviour (Rhodes & Kates, 2015), especially in older non-active adults (Lees, Clark, Nigg, & Newman, 2005). Thus, it is highly socially relevant to understand how to design exercise sessions in order to increase pleasure during exercise. The main objective of the present

study was to compare the affective response in older adults to four exercise conditions: one at self-selected intensity exercise, and three dictated intensity exercise sessions with the peak of intensity at the beginning, in the middle and at the end of the session. The manipulation check (i.e., change in heart rate across time) showed the peak of intensity after the first bout in S1, after second bout in S2, and after the last bout in S3, meaning that all the sessions with imposed intensity were well constructed and conducted as intended, allowing us to perform further analysis to compare the effect of experimental conditions on affective response.

First of all, the results of this study showed a decreasing general trend in affective valence and an opposite increase of perceived exertion. This result is in line with the literature which reports that, in elderly, the affective response to exercise decreases progressively during exercise at continuous intensity (Focht et al., 2007). Also note that the FS score remained in a positive state in all four conditions. However, it will be incorrect to interpret this result as meaning that all four conditions produce a positive affective dynamic that favours future PA engagement, because the existence of a positivity bias might be suspected. Indeed, as stated by Ekkekakis (2013) "because the typical response to the question "*how are you feeling"* in many western cultures is "*good",* the baseline FS rating is usually +3" (p. 149). Additionally, literature on socioemotional selectivity reports that, with age, this positivity bias in emotional valence increases, as older people privilege positive information in cognitive processing (Carstensen, Isaacowitz, & Charles, 1999). Thus, the valence of the affective response to exercise in the present study might be not so positive; the specific effects of the conditions deserve to be compared.

Results reveal that all conditions do not have equal effect on affective response; some conditions have a greater effect than others. More specifically, the pattern of affective valence to exercise and perceived exertion level were similar across time between the condition with the decreasing intensity (S1), the one with peak of intensity in the middle of the session (S2) and the one with the self-selected intensity (S4). During the exercise condition with the increasing intensity (S3), the affective response was more negative and the perceived difficulty was higher than in the three other conditions (S1, S2 and S4). These results partially confirmed our hypothesis, which expected that the affective response to self-selected condition would be the greater, and that the one associated to S3 would be the worst. The absence of difference between the self-selected intensity session (S4) and the conditions S1 and S2 indicates that the negative impact of peak intensity on affective response can be hindered by the moment at which the peak of intensity arrives. While the intensity peak was similar in the three dictated conditions, it seems that, if this peak appears at the beginning or in the middle of the session pursued by a progressive decrease of the intensity, then the pattern of affective valence across time is greater than when the intensity increases progressively with the peak at the end. Taken together these results suggest that the nature of exercise intensity slope has more impact on the affective response to exercise than the peak of intensity. These results are in line with those of Zenko et al. (2016) which showed that ramping exercise intensity down, elicited a positive slope of pleasure during exercise and improved post exercise remembered pleasure, while ramping exercise intensity up had the opposite effect.

Moreover, these results reveal the possibility to improve the affective response to exercise by allowing the participants to self-regulate the intensity of the exercise. These findings confirm previous studies (Cabanac, 1985, 1986) showing that, when the intensity is self-selected, participants adjust the pace to minimize unpleasant feelings. The feeling of autonomy is important to PA engagement because autonomy supportive contexts result with more positive exercise experience which, in turn, favour the development of autonomous forms of motivation that are related to greater physical activity adherence (Teixeira, Carraça, Markland, Silva, & Ryan, 2012). While the findings of the present study are aligned with the SDT tenets, and previous studies in obese/overweight (Ekkekakis & Lind, 2006) and in healthy normal-weight adults (Rose & Parfitt, 2012; Vazou-Ekkekakis & Ekkekakis, 2009), to our knowledge, no previous study examined the affective response to self-selected intensity in older adults.

In contrast to during exercise affective response (i.e., measured with FS and RPE), which showed an effect of the experimental conditions, the post-exercise affective response (i.e., measured with ADACL) showed no differences in the four subscales. This finding confirms the DMT principle according to which an exercise that induced a decline in pleasure during the bout will be followed by a positive affective rebound once finished (Ekkekakis et al., 2008). Thus, whether an exercise session has the ability to maintain or to improve the post-exercise affects compared to pre-exercise affects, this post-exercise affective response do not depend on exercise intensity peak, nor the intensity slope of the exercise session. The fact that post-exercise affective response, contrary to during exercise affective response, is not influenced by the nature of the exercise may be one reason which explains that the former do not predict significantly the future exercise behaviour (Rhodes & Kates, 2015). In their review of literature, Rhodes & Kates (2015) explained the contrasting effect of affective response during *versus* after exercise on future PA in reference to timing of the affective experience: "the more distal consequences of behaviour, such affect experienced after the PA, is less predictive of future PA than the proximal consequences, such as affect experienced during exercise" (p.727). Based on the DMT, the present study seems to reveal that, not only the timing, but also the nature of the experienced affective response may explain the differentiated effect of during *vs*. after affect on future PA.

In interpreting the results of the present study, researchers and practitioners should take into account its inherent limitations. First, the small size of the sample limits the generalizability of the findings. The replication of these findings with larger and more diverse samples of women and men is necessary before firm conclusions can be drawn. Second, aerobic activity was selected for this study because it was the main activity that the educator proposed to the participants since the beginning to the exercise program. However, other activities are also recommended for older adults (e.g., weight lifting, balance exercise). The extent to which the results reported here would also occur with other types of exercise in unknown and requires additional study.

In conclusion, the results of the current study shed new light on PA in elderly, as, to our knowledge, it is the first one to investigate during exercise affective response to different exercise intensities in older adults. In addition, carrying out in natural setting, not in laboratory, the findings of this study have greater ecological validity. In essence, the study revealed that, in older adults, the affective response to exercise depends not only on the intensity but rather on the moment during the session when the peak of intensity appears. The affective valence is more negative when the intensity increases progressively and the peak of intensity appears at the end of the session. However, when the peak of intensity is proposed at the beginning or in the middle of the session or when the intensity is self-selected the affective response is more positive. These results are all the more interesting that they reveal that affective response to these two dictated exercise sessions was not significantly different to the affective response to the self-selected one. From a practical perspective, these results suggest that to combine exposure to moderate to vigorous intensities with a pleasant affective experience, the educator should take into account the moment of intensity peak appearance when designing the exercise sessions. The research on affective response to exercise in older adults being still in its infancy, more studies are warranted.

## References


Acree, L. S., Longfors, J., Fjeldstad, A. S., Fjeldstad, C., Schank, B., Nickel, K. J., Montgomery, P. S. & Gardner, A. W. (2006). Physical activity is related to quality of life in older adults. Health and quality of life outcomes, 4(1), 37.

Anses. (2016). Actualisation des repères du PNNS: Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité.

Berger, B. G. (1989). The role of physical activity in the life quality of older adults. Physical activity and aging, 42-58.

Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales: Human kinetics.

Bryk, A. S., & Raudenbush, S. W. (1992). Hierarchical linear models for social and behavioral research: Applications and data analysis methods: Newbury Park, CA: Sage.

Cabanac, M. (1985). Optimisation du comportement par la minimisation du déplaisir dans un espace sensoriel à 2 dimensions. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie, 301(13), 607-610.

Cabanac, M. (1986). Performance and perception at various combinations of treadmill speed and slope. Physiology & behavior, 38(6), 839-843.

Carstensen, L. L., Isaacowitz, D. M., & Charles, S. T. (1999). Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. American psychologist, 54(3), 165.

Chakravarty, E. F., Hubert, H. B., Lingala, V. B., & Fries, J. F. (2008). Reduced disability and mortality among aging runners: a 21-year longitudinal study. Archives of internal medicine, 168(15), 1638-1646.

Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Singh, M. A. F., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). Exercise and physical activity for older adults. Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(7), 1510-1530.

Clark, D. O. (1999). Identifying psychological, physiological, and environmental barriers and facilitators to exercise among older low income adults. Journal of clinical geropsychology, 5(1), 51-62.

Clodore, M., Benoit, O., & Foret, J. (1986). Diurnal variation in subjective and objective measures of sleepiness: the effects of sleep reduction and circadian type. Chronobiology international, 3(4), 255-263.

Cress, M. E., Buchner, D. M., Questad, K. A., Esselman, P. C., DeLateur, B. J., & Schwartz, R. S. (1999). Exercise: effects on physical functional performance in independent older adults. Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 54(5), M242-M248.

Daley, M. J., & Spinks, W. L. (2000). Exercise, mobility and aging. Sports Med, 29(1), 1-12.

Ekkekakis, P. (2003). Pleasure and displeasure from the body: Perspectives from exercise. Cognition & Emotion, 17(2), 213-239.

Ekkekakis, P. (2009). Let Them Roam Free? Sports Medicine, 39(10), 857-888.

Ekkekakis, P. (2013). The measurement of affect, mood, and emotion: A guide for health-behavioral research: Cambridge University Press.

Ekkekakis, P., Hall, E. E., & Petruzzello, S. J. (2005). Some like it vigorous: Measuring individual differences in the preference for and tolerance of exercise intensity. Journal of sport and Exercise Psychology, 27(3), 350-374.

Ekkekakis, P., Hall, E. E., & Petruzzello, S. J. (2008). The relationship between exercise intensity and affective responses demystified: to crack the 40-year-old nut, replace the 40-year-old nutcracker! Annals of Behavioral Medicine, 35(2), 136-149. doi: 10.1007/s12160-008-9025-z

Ekkekakis, P., & Lind, E. (2006). Exercise does not feel the same when you are overweight: the impact of self-selected and imposed intensity on affect and exertion. International journal of obesity (Lond), 30(4), 652-660. doi: 10.1038/sj.ijo.0803052

Ekkekakis, P., Parfitt, G., & Petruzzello, S. J. (2011). The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities. Sports Medicine, 41(8), 641-671.

Eurobarometer, S. (2014). 412 "Sport and Physical Activity". Belgium: European Comission.

Focht, B. C., Knapp, D. J., Gavin, T. P., Raedeke, T. D., & Hickner, R. C. (2007). Affective and self-efficacy responses to acute aerobic exercise in sedentary older and younger adults. Journal of Aging and Physical Activity, 15(2), 123-138.

Fredrickson, B. L. (2000). Extracting meaning from past affective experiences: The importance of peaks, ends, and specific emotions. Cognition & Emotion, 14(4), 577-606.

Hardy, C. J., & Rejeski, W. J. (1989). Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. Journal of sport and Exercise Psychology, 11, 304-317.

Hawkins, H. L., Kramer, A. F., & Capaldi, D. (1992). Aging, exercise, and attention. Psychology and aging, 7(4), 643.

Heck, R., Thomas, S., & Tabata, L. (2014). Examining individual change with repeated measures data. Multilevel and Longitudinal Modeling with IBM SPSS, 167-238.
Holloszy, J., & Kohrt, W. Sect. 11. Chapt. 24: Exercise. Handbook of Physiology. Aging, 633-666.
Judd, C. M., McClelland, G. H., & Ryan, C. S. (2008). Data analysis: A model comparison approach (Second Edition ed.). San Diego: Routledge.
Kahneman, D., Fredrickson, B. L., Schreiber, C. A., & Redelmeier, D. A. (1993). When more pain is preferred to less: Adding a better end. Psychological science, 4(6), 401-405.
Katula, J. A., Blissmer, B. J., & McAuley, E. (1999). Exercise intensity and self-efficacy effects on anxiety reduction in healthy, older adults. Journal of behavioral medicine, 22(3), 233-247.
Kemp, S., Burt, C. D., & Furneaux, L. (2008). A test of the peak-end rule with extended autobiographical events. Memory & Cognition, 36(1), 132-138.
Lakatta, E. G. (2003). Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises. Circulation, 107(3), 490-497.
Lee, L.-L., Arthur, A., & Avis, M. (2008). Using self-efficacy theory to develop interventions that help older people overcome psychological barriers to physical activity: a discussion paper. International journal of nursing studies, 45(11), 1690-1699.
Lees, F. D., Clark, P. G., Nigg, C. R., & Newman, P. (2005). Barriers to exercise behavior among older adults: a focus-group study. Journal of Aging and Physical Activity, 13(1), 23-33.
Lind, E., Ekkekakis, P., & Vazou, S. (2008). The Affective Impact of Exercise Intensity That Slightly Exceeds the Preferred Level: 'Pain'for No Additional'Gain'. Journal of Health Psychology, 13(4), 464-468.
Masoro, E. J. (1995). Handbook of Physiology: Section 11: Aging: An American Physiological Society Book.
McAuley, E., & Rudolph, D. (1995). Physical activity, aging, and psychological well-being. Journal of Aging and Physical Activity, 3(1), 67-96.
Middleton, L. E., Mitnitski, A., Fallah, N., Kirkland, S. A., & Rockwood, K. (2008). Changes in cognition and mortality in relation to exercise in late life: a population based study. PLoS One, 3(9), e3124.
Moul, J. L., Goldman, B., & Warren, B. (1995). Physical activity and cognitive performance in the older population. Journal of Aging and Physical Activity, 3(2), 135-145.
Muth, C., Bales, K. L., Hinde, K., Maninger, N., Mendoza, S. P., & Ferrer, E. (2016). Alternative models for small samples in psychological research: applying linear mixed effects models and generalized estimating equations to repeated measures data. Educational and Psychological Measurement, 76(1), 64-87.
Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., Macera, C. A. & Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults. Recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Circulation.
Rejeski, W. J., Brawley, L. R., & Shumaker, S. A. (1996). Physical activity and health-related quality of life. Exercise and sport sciences reviews, 24(1), 71-108.
Rhodes, R. E., & Kates, A. (2015). Can the affective response to exercise predict future motives and physical activity behavior? A systematic review of published evidence. Annals of Behavioral Medicine, 49(5), 715-731.
Rose, E., & Parfitt, G. (2007). A quantitative analysis and qualitative explanation of the individual differences in affective responses to prescribed and self-selected exercise intensities. Journal of sport and Exercise Psychology, 29(3), 281-309.
Rose, E., & Parfitt, G. (2012). Exercise experience influences affective and motivational outcomes of prescribed and self-selected intensity exercise. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 22(2), 265-277.
Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness: Guilford Publications.
Schreiber, C. A., & Kahneman, D. (2000). Determinants of the remembered utility of aversive sounds. Journal of Experimental Psychology: General, 129(1), 27.
Shephard, R. (1991). Physical fitness: exercise and ageing. Principles and practice of geriatric medicine. 2nd Edition. MSJ Pathy John Wiley & Sons Ttd Ed, 279-292.
Shephard, R. J. (1997). Aging, physical activity, and health: Human Kinetics Publishers.
Spirduso, W. W., & Cronin, D. L. (2001). Exercise dose–response effects on quality of life and independent living in older adults. Medicine & Science in Sports & Exercise.
Stone, A. A., Schwartz, J. E., Broderick, J. E., & Shiffman, S. S. (2005). Variability of momentary pain predicts recall of weekly pain: a consequence of the peak (or salience) memory heuristic. Personality and social psychology bulletin, 31(10), 1340-1346.

Teixeira, P. J., Carraça, E. V., Markland, D., Silva, M. N., & Ryan, R. M. (2012). Exercise, physical activity, and self-determination theory: a systematic review. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 9(1), 78.

Thayer, R. E. (1989). The biopsychology of mood and arousal. New York: Oxford University Press.

Vazou-Ekkekakis, S., & Ekkekakis, P. (2009). Affective consequences of imposing the intensity of physical activity: does the loss of perceived autonomy matter. Hellenic Journal of Psychology, 6(2), 125-144.

Zenko, Z., Ekkekakis, P., & Ariely, D. (2016). Can you have your vigorous exercise and enjoy it too? Ramping intensity down increases postexercise, remembered, and forecasted pleasure. Journal of Sport and Exercise Psychology, 38(2), 149-159.

## Tables

Table 1.
*Descriptive analysis of heart rate, perceived exertion and affective response during four exercise conditions.*

| **HR** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Post warm-up | Exercise 1 | Exercise 2 | Exercise 3 |
| S1 | 95.0 ± 10.7 | 121.1 ± 12.6 | 108.7 ± 13.8 | 108.7 ± 14.2 |
| S2 | 96.9 ± 12.0 | 109.5 ± 8.6 | 129.2 ± 8.3 | 114.3 ± 8.9 |
| S3 | 94.0 ± 12.6 | 111.2 ± 13.0 | 112.1 ± 14.2 | 129.1 ± 15.9 |
| S4 | 97.4 ± 17.8 | 112.7 ± 14.7 | 116.4 ± 17.4 | 119.3 ± 17.2 |
| **RPE** | | | | |
| | Post warm-up | Exercise 1 | Exercise 2 | Exercise 3 |
| S1 | 7.8 ± 2.3 | 11.2 ± 2.6 | 10.3 ± 2.3 | 10.8 ± 2.5 |
| S2 | 8.3 ± 2.3 | 9.7 ± 2.4 | 11.1 ± 2.3 | 10.3 ± 2.2 |
| S3 | 8.3 ± 2.2 | 9.9 ± 2.5 | 10.3 ± 2.4 | 12.1 ± 2.4 |
| S4 | 8.3 ± 2.1 | 9.5 ± 2.3 | 10.2 ± 2.2 | 10.9 ± 2.4 |
| **FS** | | | | |
| | Post warm-up | Exercise 1 | Exercise 2 | Exercise 3 |
| S1 | 3.8 ± 1.2 | 2.4 ± 1.6 | 2.7 ± 1.6 | 2.9 ± 1.3 |
| S2 | 3.6 ± 1.3 | 3.0 ± 1.5 | 2.5 ± 1.7 | 2.8 ± 1.6 |
| S3 | 3.8 ± 1.2 | 3.1 ± 1.2 | 2.9 ± 1.6 | 2.0 ± 2.1 |
| S4 | 3.3 ± 1.4 | 2.8 ± 1.8 | 2.7 ± 1.6 | 2.3 ± 1.9 |

Table 2.
*Results of multilevel growth model of heart rate at each session.*

| | S1 | S2 | S3 | S4 |
|---|---|---|---|---|
| | b (SE) | b (SE) | b (SE) | b (SE) |
| Intercept | 68.88 (5.79)*** | 60.21 (4.89)*** | 84.84 (5.45)*** | 80.04 (5.80)*** |
| Time | 140.13 (20.31)*** | 166.05 (17.50)*** | 43.39 (18.91)* | 85.39 (19.25)*** |
| Time² | -102.81 (16.01)*** | -109.86 (13.78)*** | -0.75v(14.89) | -46.80 (15.16)** |

Table 3.
*Results of the Multilevel Models for perceived exhaustion.*

| | | Unconditional model | Conditional model |
|---|---|---|---|
| | | *b* (SE) | *b* (SE) |
| Fixed effect | Intercept | 10.01(0.30)*** | 2.05 (0.70)** |
| | Time | | 3.58 (0.27)*** |
| | S4vsS1S2S3 | | -1.67 (0.50)** |
| | 1vsS2S3 | | 2.23 (0.30)*** |
| | S2vsS3 | | -3.57 (0.81)*** |
| | S3vsS2S1S4 | | -1.38 (0.38)*** |
| | S4vsS1S2 | | -3.20 (0.66)*** |
| | S1vsS2 | | 1.56 (0.49)** |
| | S2vsS3S1S4 | | 1.01 (0.30)** |
| | S3vsS1S4 | | -1.56 (0.55)** |
| | S1vsS4 | | -5.58 (0.97)*** |
| | Temps x S4vsS1S2S3 | | -0.02 (0.15) |
| | Temps x S1vsS2S3 | | -0.23 (0.22) |
| | Temps x S2vsS3 | | 0.82 (0.37)* |
| | Temps x S3vsS2S1S4 | | 0.36 (0.15)* |
| | Temps x S4vsS1S2 | | 0.15 (0.22) |
| | Temps x S1vsS2 | | 0.07 (0.38) |
| | Temps x S2vsS3S1S4 | | -0.19 (0.16) |
| | Temps x S3vsS1S4 | | 0.44 (0.21)* |
| | Temps x S1vsS4 | | 0.19 (0.38) |
| Random effect | Level 1 | 3.75 (0.25)*** | 2.59 (1.74)*** |
| | Level 2 | 2.81 (0.74)*** | 2.88 (0.74)*** |
| Test of significance | | | |
| -2logV | | 2054.97 | 1891.39 |
| $\chi^2$ (df) | | | 163.58 (7)*** |
| Effect size | $d_{S2vsS3}$ | | 1.48 |
| | $d_{S3vsS2S1S4}$ | | 0.65 |
| | $d_{S3vsS1S4}$ | | 0.80 |

Table 4.
*Results of the Multilevel Models for affective response to exercise (FS).*

| | | Unconditional model | Conditional model |
|---|---|---|---|
| | | *b* (SE) | *b* (SE) |
| Fixed effect | Intercept | 2.86 (0.20)*** | 6.14 (0.46)*** |
| | Time | | -1.43 (0.17)*** |
| | S4vsS1S2S3 | | 0.46 (0.33) |
| | 1vsS2S3 | | -1.11 (0.20)*** |
| | S2vsS3 | | 2.10 (0.53)*** |
| | S3vsS2S1S4 | | 0.92 (0.25)*** |
| | S4vsS1S2 | | 1.15 (0.43)** |
| | S1vsS2 | | -0.62 (0.32)$^{0.054}$ |
| | S2vsS3S1S4 | | -0.48 (0.20)* |
| | S3vsS1S4 | | 1.13 (0.36)** |
| | S1vsS4 | | 2.03 (0.64)** |
| | Temps x S4vsS1S2S3 | | 0.04 (0.10) |
| | Temps x S1vsS2S3 | | 0.24 (0.14) |
| | Temps x S2vsS3 | | -0.52 (0.25)* |
| | Temps x S3vsS2S1S4 | | -0.27 (0.10)** |
| | Temps x S4vsS1S2 | | -0.07 (0.14) |
| | Temps x S1vsS2 | | 0.11 (0.25) |
| | Temps x S2vsS3S1S4 | | 0.08 (0.10) |
| | Temps x S3vsS1S4 | | -0.36 (0.14)** |
| | Temps x S1vsS4 | | -0.16 (0.25) |
| Random effect | Level 1 | 1.33 (0.08)*** | 1.11 (0.07)*** |
| | Level 2 | 1.32 (0.34)*** | 1.35 (0.34)*** |
| Test of significance | | | |
| -2logV | | 1576.69 | 1500.74 |
| $\chi^2$ (df) | | | 75.95 (7)*** |
| Effect size | $d_{S2vsS3}$ | | 1.61 |
| | $d_{S3vsS2S1S4}$ | | 0.84 |
| | $d_{S3vsS1S4}$ | | 1.12 |

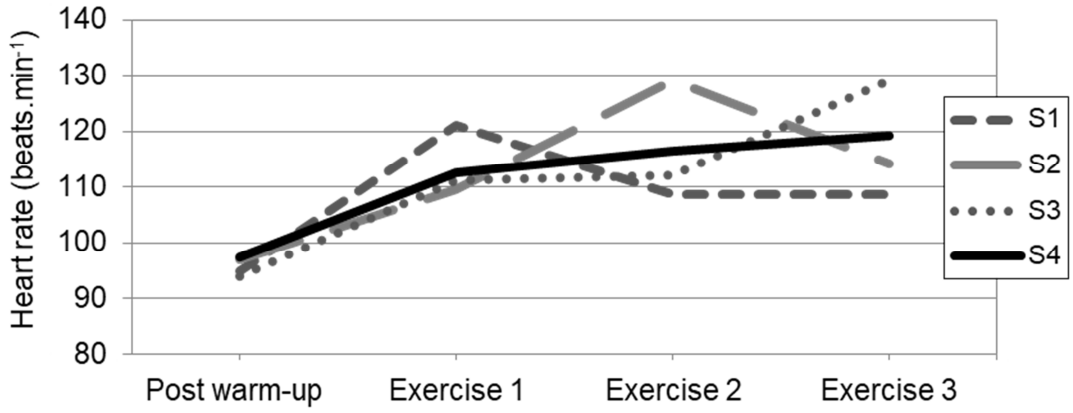
Table 5.

*Results of the Multilevel Models for affective response after exercise (ADACL)*

| | | Energy | Calmness | Tiredness | Tension |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *b* (SE) | *b* (SE) | *b* (SE) | *b* (SE) |
| Fixed effect | Intercept | 3.23 (0.18)*** | 2.87 (0.17)*** | 1.52 (0.15)*** | 1.68 (0.15)*** |
| | Time | 0.07 (0.07) | -0.03 (0.06) | -0.01 (0.06) | -0.16 (0.05)** |
| | S4vsS1S2S3 | 0.12 (0.13) | -0.05 (0.11) | -0.01 (0.11) | -0.03 (0.10) |
| | 1vsS2S3 | 0.10 (0.08) | 0.09 (0.07) | -0.02 (0.07) | -0.08 (0.06) |
| | S2vsS3 | 0.18 (0.21) | 0.12 (0.18) | 0.09 (0.18) | -0.37 (0.17)* |
| | S3vsS2S1S4 | -0.10 (0.10) | -0.08 (0.08) | -0.03 (0.08) | 0.20 (0.08)** |
| | S4vsS1S2 | 0.16 (0.30) | -0.16 (0.26) | -0.04 (0.25) | 0.13 (0.24) |
| | S1vsS2 | 0.23 (0.43) | -0.09 (0.37) | -0.13 (0.36) | 0.32 (0.34) |
| | S2vsS3S1S4 | -0.01 (0.08) | 0.03 (0.07) | 0.04 (0.07) | -0.09 (0.06) |
| | S3vsS1S4 | -0.20 (0.15) | -0.07 (0.13) | -0.01 (0.12) | 0.19 (0.12) |
| | S1vsS4 | -0.13 (0.26) | 0.19 (0.22) | -0.01 (0.21) | -0.03 (0.20) |
| | Temps x S4vsS1S2S3 | -0.05 (0.04) | 0.02 (0.03) | 0.003 (0.03) | 0.04 (0.03) |
| | Temps x S1vsS2S3 | -0.03 (0.05) | -0.07 (0.05) | 0.04 (0.05) | -0.02 (0.04) |
| | Temps x S2vsS3 | -0.07 (0.10) | -0.04 (0.09) | -0.30 (0.08) | 0.11 (0.08) |
| | Temps x S3vsS2S1S4 | 0.04 (0.04) | 0.04 (0.04) | 0.002 (0.04) | -0.07 (0.03) |
| | Temps x S4vsS1S2 | -0.08 (0.12) | 0.08 (0.10) | 0.01 (0.10) | -0.01 (0.09) |
| | Temps x S1vsS2 | -0.09 (0.23) | -0.01 (0.20) | 0.10 (0.19) | -0.21 (0.18) |
| | Temps x S2vsS3S1S4 | 0.004 (0.04) | 0.004 (0.04) | -0.02 (0.03) | 0.03 (0.03) |
| | Temps x S3vsS1S4 | 0.08 (0.06) | 0.05 (0.05) | -0.02 (0.05) | -0.05 (0.04) |
| | Temps x S1vsS4 | 0.08 (0.10) | -0.12 (0.08) | 0.03 (0.08) | -0.09 (0.08) |
| Random effect | Level 1 | 0.24 (0.02)*** | 0.17 (0.02)*** | 0.17 (0.02)*** | 0.15 (0.01)*** |
| | Level 2 | 0.15 (0.04)** | 0.25 (0.07)*** | 0.06 (0.02)** | 0.15 (0.04)*** |
| Test of significance | | | | | |
| Reference model | | 395.85 | 347.05 | 294.24 | 303.80 |
| -2logV | | 390.69 | 339.30 | 291.66 | 287.98 |
| $\chi^2$ (df) | | 5.16 (7) | 7.75 (7) | 2.58 (7) | 15.82 (7)* |
| Effect size d | | - | - | - | - |

Figures

Figure 1.
*Heart rate evolution at each session.*



## 2.3. RÉPONSE AFFECTIVE À L'EXERCICE CHEZ LA PERSONNE EN SURPOIDS/OBÈSE

L'AP a des nombreux effets bénéfiques sur la santé des personnes obèses. Cependant, le niveau d'engagement des personnes obèses à l'AP régulière est très faible. La réponse affective à l'exercice est un paramètre important qui favorise la participation durable à l'AP. L'EII et la possibilité d'autoréguler l'intensité de l'exercice sont des conditions qui peuvent potentiellement influencer l'engagement à l'AP. Dans cette perspective, l'objectif de la *Publication 3* était d'évaluer les effets de l'EII avec et sans la possibilité de choisir l'intensité de l'exercice, comparé à l'EIMC sur la réponse affective à l'exercice chez la personne en surpoids/obèse et chez le sujet sain.

# - Publication 3 -

## Affective response in obese persons to high intensity intermittent exercise with and without autonomy support: a comparison with moderate intensity continuous exercise and normal weight population

*Article prêt pour la soumission*

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale : **Congrès MB&E 2016 Lille – 21-23 Novembre 2016**


Résumé

Introduction : L'activité physique (AP) a des effets bénéfiques sur la morbidité cardio-métabolique associée à l'obésité. Cependant, le niveau d'adhésion à l'AP des personnes obèses est très faible. La réponse affective à l'exercice aigu pourrait permettre d'augmenter cette adhésion. Afin de favoriser une réponse positive à l'exercice la littérature suggère deux conditions prometteuses : (1) l'exercice intermittent intense, et (2) le soutien de l'autonomie au cours de l'exercice. Nous avons fait l'hypothèse que la réponse affective à l'exercice et la motivation seront plus positives après exercice intermittent intense avec soutien de l'autonomie (HIIE+SSI) et similaires entre l'exercice intermittent intense sans soutien de l'autonomie (HIIE) et l'exercice d'intensité modérée continu (MICE) dans les deux groupes. Nous avons également supposé que cette réponse affective serait plus négative dans le groupe des sujets en surpoids/obèses (OO) que chez les individus sains (NW).

Objectif : Evaluer les effets de l'HIIE et HIIE+SSI par rapport à MICE sur la réponse affective à l'exercice de personnes en surpoids/obèses (OO) et de sujets sains (NW).

Méthodes : 16 participants (10 sujets en surpoids/obèses, 6 sujets sains; âgés de 18 à 65 ans) ont réalisé 3 séances d'exercice – HIIE, MICE HIIE+SSI, sur un ergocycle. Les mesures de la réponse affective (i.e., Feeling Scale, FS, niveau de difficulté perçue, RPE) ont été réalisées dès la fin de l'échauffement et toutes les deux minutes au cours de l'exercice. Une mesure de la fréquence cardiaque et des échanges gazeux ont été réalisées en continu tout au long de l'exercice. A la fin de la période de récupération, les participants ont rempli le questionnaire de satisfaction du besoin d'autonomie (Health care climate questionnaire).

Résultats : Les trois conditions expérimentales ont induit une dépense énergétique similaire, mais cette dépense est différente entre les groupes (NW>OO). Les participants ont rapporté un niveau d'autonomie plus élevé au cours de la séance HIIE+SSI par rapport aux deux autres conditions ($p < 0,01$). L'analyse multi-niveau révèle que la réponse affective ainsi que la difficulté perçue sont similaires entre les trois conditions chez les sujets en surpoids/obèses. Chez les sujets sains, le score de FS et de RPE ne diffère pas significativement entre HIIE et MICE. Cependant, le score de FS est plus élevé ($p<0,05$) au cours de HIIE+SSI.

Conclusion : La réponse à l'exercice chez les participants obèses montre une évolution différente de celle des sujets sains. Cependant, la condition avec soutien de l'autonomie (HIIE+SSI) semble être une perspective intéressante car elle peut impacter positivement la réponse affective.

# Affective response in obese persons to high intensity intermittent exercise with and without autonomy support: a comparison with moderate intensity continuous exercise and normal weight population

Anna Borowik[1, 2], Damien Tessier[3], Patrice Flore[1, 2]

[1]Université Grenoble Alpes, Laboratoire HP2, Grenoble, F-38042 France
[2]INSERM, U1042, Grenoble, F-38042 France
[3]Université Grenoble Alpes, Laboratoire SENS, F-38000, Grenoble, France

Obesity is a major public health problem that reached the level of epidemic [1]. It has many negative consequences on health at physiological (e.g., cardiovascular diseases, diabetes, metabolic syndrome, osteoarticular pains, osteoporosis, cancer) [2] and psychosocial level (e.g., low life-quality, low self-esteem, eating disorders, depression, discrimination, social isolation) [3]. Regular participation in physical activity (PA) can prevent those problems [2]. Despite this knowledge, in France obese subjects are less physically active than normal-weight individuals (6276 steps/day vs. 7626 steps/day respectively) [4]. In addition both groups are far from reaching the recommended PA level (10000 steps/ day, [5]). One of the main reasons for this low PA participation is related to motivational and affective response to exercise [6-8].

**Affective response to exercise**

"Nature has placed mankind under the governance of two sovereign masters, pain and pleasure (…) They govern us in all we do, all we say, all we think (…)" [9]. Behind every behavior there is a hidden unconscious idea to maximize the pleasure and minimize the pain [10]. Affect is defined as the most basic or elementary component of all valenced (pleasant or unpleasant) responses, including, but not limited to, emotions and moods [11]. Thus, an affective response is defined as a change in self-reported pleasure-displeasure [12]. Consistent with hedonic theories of behaviour, the affective response to PA has been posited as an important determinant of future physical activity. In their recent review of literature, Rhodes and Kates (2015) [13] confirmed partially this assumption showing that a positive change in the basic affective response during exercise was linked to future PA, but post-exercise affect had a null relationship.

Thus, there is an urgent need to develop programs promoting positive affective response during PA, in particular for obese people. Indeed, if positive affective response to PA is the corner stone for a durable engagement in PA, this is all the more true for obese people who perceive every exercise as unpleasant [14]. Ekkekakis (2016) [15] in his conceptual model described a "vicious cycle" between obesity and inactivity where the displeasure from exercise plays a central role. In this model every attempt of PA by obese individuals will result with unpleasant affective experience provoked by physical and psychological barriers. As a result, exercise will be memorized as unpleasant and in consequence avoided in the future. More specifically, in obese people, the increase in metabolic and mechanical cost of physical effort [16, 17] increases their fatigue sensations, the discomfort and the exercise subjective intensity perception which are negatively associated with exercise tolerance [18]. In addition to the physical factors, the psychological ones such as low self-esteem, negative body image, and fear of injury have been identified as detrimental effect on affective response to exercise in obese people which lead to low exercise tolerance [15]. All these physical and psychological factors that explain the lower exercise tolerance in obese individuals compared to normal-weight people [19] have been conceptually formalized in the "central governor model" in humans (CGM) [20]. The CGM describes exercise as a behaviour that is regulated in anticipation by the brain, on the basis of continuous feedback from all the organs, to ensure the whole-body homoeostasis protection. In this sense, the brain controls motor unit recruitment so that the participant can complete the task prior to

experiencing intolerable discomfort, which might necessitate immediate cessation of exercise. In his review of literature, Noakes (2011) [21] reported studies confirming that factors that are responsible for unpleasant affective response and low tolerance to exercise in obese people (i.e., afferent sensory feedback and self-belief) were indeed moderators of exercise performance. Thus, it is important to propose to obese subjects the type of exercise that will be perceived as pleasant as possible or at least that will not produce any negative affects in order to maximize their PA engagement. In this perspective, the literature highlights two promising conditions: 1) proposing intense and short-duration exercise, and 2) providing autonomy support during exercise.

**Affective response to high intensity interval exercise**

Recently high intensity interval exercise (HIIE) has regained interest in literature. HIIE consists on high intensity short duration bouts of exercise interspaced by low intensity exercise or passive recovery periods [22]. It has also many positive effects on health and performance [23-27]. HIIE can be a promising alternative to moderate intensity continuous exercise (MICE), because it provides more metabolic stress and as a result more improvement in aerobic fitness and health related parameters [27]. This type of exercise makes maximal solicitation tolerable thanks to recovery periods: during HIIE "decreased subjective feeling of fatigue, breathlessness, and monotony" are observed compared to MICE [28]. However, only few researches focused on affective response to HIIE, and the results of those investigations are contradictory. While some studies showed that HIIE is more enjoyable than MICE for normal weigh participants [29, 30], others revealed a lower pleasure associated with HIIE compared to MICE, in particular with obese population. More specifically, Bartlett et al. (2011) [29] evaluated the perceived enjoyment after moderate-intensity continuous running (50 minutes at 70% $\dot{V}O_{2max}$) compared to high intensity interval running (6×3 min at 90% $\dot{V}O_{2max}$ interspersed with 6×3 min active recovery at 50% $\dot{V}O_{2max}$) in eight recreationally active men. The results showed higher enjoyment despite of higher ratings of perceived exertion after high-intensity session. Similar results were observed by Thum et al. (2017) [30] in twelve recreationally active men and women. In contrast, the studies on basic affect-exercise relationship indicate that HIIE produces more negative affective response than MICE [31-33]. In the study of Decker et al. (2017) [32] the participants (twenty-four low-active obese women) performed two acute isocaloric exercise sessions: HIIE (protocol: 3-min warm-up at 20 Watts, 20-min HIIE that consisted on 4 × 3-min bouts at 115% of ventilatory threshold (VT) power interspaced with 4 × 2-min active recovery periods at 80% of VT and 5-min cool-down at 20 Watts) and MICE (protocol: 3-min warm-up at 20 Watts, 25-min of cycling at 90% of VT and 5-min cool-down at 20 Watts). The results of affective response to exercise showed higher negative affects in HIIE compared to MICE despite similar levels of perceived exertion. Like Decker et al. (2017) [32], Saanijoki et al. (2015) [31] demonstrated similar results but in twenty- six healthy middle-age sedentary men which performed six sessions of HIIE (n=13, 4–6 × 30 s of all-out cycling efforts at approximately 180% of peak workload with 4-min recovery) or MICE (n = 13, 40- to 60-min continuous cycling at 60% of peak workload) within two weeks. In regard of these findings, Oliveira et al. (2013) [33] postulated that more positive affective response to HIIE can be achieved by longer recovery periods.

**Affective response to autonomy supportive exercise context**

The self-Determination Theory (SDT, [34, 35]) is a motivational theory that has been proven to be a heuristic theoretical framework for the investigation of self-selected (autonomous) and dictated (non-autonomous) behaviors in exercise context (see Ekkekakis, 2009 [36] for a review). Within SDT, autonomy is postulated to be one of the basic psychological needs (next to competence and relatedness) that are essential for ongoing psychological growth, integrity, and well-being of all individuals [34]. Autonomy refers to the extent to which a person feels free (perceived high flexibility and low pressure) to exhibit the behavior of his or her choice, with an inner endorsement of his or her own action. The SDT suggests that the degree of pleasure that individuals experience when they act autonomously (e.g., when they set their own exercise intensity) will likely be higher than that experienced when behavioural parameters are externally controlled (e.g.,

when the intensity is imposed). In addition, such autonomy supportive social environment promotes autonomous forms of motivation which are related to greater adherence to physical activity than controlled forms of motivation [37]. On the SDT continuum, autonomous forms motivation refer to intrinsic motivation (engaging in an activity for fun or enjoyment) and identified regulation (engaging in an activity because it is useful or important); by contrast controlled forms of motivation are introjected (engaging in an activity due to shame or guilt) and external (engaging in an activity for external reward) regulations [38].

Some recent empirical studies confirmed that allowing participants to select themselves the level of intensity of exercise (workload or speed) promotes more positive affect during exercise [19, 39, 40]. For example, Ekkekakis and Lind (2006) [19] evaluated the effects of self-selected intensity on affective response to two sessions of MICE (20-min sessions of treadmill exercise, one at self-selected speed and one at imposed speed, 10% higher than the self-selected) in 16 overweight (BMI: 31kg/m$^{-2}$) and 9 normal-weight (BMI: 22kg/m$^{-2}$) previously sedentary, healthy women. The results indicated that there was no change in affective valence in overweight women when the intensity was self-selected, but this affective response decreased progressively throughout the session if the intensity was imposed [19]. To our knowledge there is no study that evaluated the affective response to self-selected HIIE (HIIE+SSI). In addition, no previous study investigated the effect of self-select intensity during exercise on both affective response and motivation.

**The present study**

The purpose of this study was to evaluate the effects of HIIE with self-selection of intensity (HIIE+SSI) compared to MICE and HIIE both without self-selection of intensity on affective response and perceived exertion during exercise, and on motivation in overweight/obese and normal-weight volunteers, controlling for physiological response to exercise. We hypothesized that in three isocaloric acute exercise sessions: 1) the affective response to exercise and motivation will be more positive after HIIE+SSI and not different between MICE and HIIE in both groups, and more negative in overweight/obese group compared to normal-weight group; 2) the effort (i.e., respiratory exchange ratio, cardiac stress i.e. heart rate, ratings of perceived exertion) provided by obese participants in each condition will be lower compared to that provided by normal weighted subjects.

**Methods**

**Participants**

16 participants were included in this study: 10 overweight/obese and 6 normal-weight subjects (Table 1). The main inclusion criteria were: age between 18 and 65 years; BMI - for normal-weight participants: 20 to 25 kg.m$^{-2}$ and for overweight/obese subjects: 27 to 35 kg.m$^{-2}$.

**Experimental design**

Every participant carried out: (a) an incremental test until exhaustion to determine $\dot{V}O_{2peak}$ and Maximal Aerobic Power (MAP), and (b) three isocaloric exercise sessions: HIIE, MICE, and HIIE+SSI on a cycle ergometer.

**Incremental test until exhaustion**

The maximal incremental test was performed on a cycle ergometer (Corival, Lode B.V., Gröningen, The Netherlands) with continuous gas exchange (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Germany) and heart rate measurement (HR; Polar H7 heart rate monitor, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). The goal of this test was to evaluate the indicators of aerobic capacity during exercise (Maximal Aerobic Power or MAP and maximal oxygen uptake or $\dot{V}O_{2peak}$). After 2 minutes of warm-up at 30W for women and 50 W for men, the intensity was increased continuously every 2 minutes by 15W for women and 20W for men until the subject could not maintain the pedaling rate (<60 rpm).

**Exercise sessions**

All the participants performed three exercise conditions in non-random order on a stationary cycle ergometer.

The session of HIIE (session 1) consisted on sixteen bouts of 30s exercise at MAP with 30 seconds passive recovery periods. The MICE session was performed at 50% of MAP. During the third session (HIIE+SSI) the participants completed the bouts of 30s exercise at self-selected intensity (first bout imposed at MAP) with 30 seconds passive recovery periods. The length of sessions 2 and 3 was adapted to produce the same energy expenditure as the first session. All three

sessions were started with 2 minutes warm-up and ended with 2 minutes of cool-down (both at 30% of MAP). In addition, the supervisor's behavior was different between the two sessions without autonomy support (HIIE and MICE) and the third session (HIIE+SSI). During session 1 and 2 the attitude was neutral without any feedback and in third session the supervisor encouraged and valorized the participants and gave them a positive feedback.

During each session several physiological and psychological variables were measured. To monitor the physiological response to exercise, HR (Polar H7 heart rate monitor, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) and gas exchange (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Germany) were continuously measured and averaged every 30 seconds. The energy expenditure across conditions was used as a manipulation check to ensure that the three exercise sessions were isocaloric. The affective response to exercise (affective valence and perceived exertion) was measured every 2 minutes. The duration of exercise sessions being non-equal in time, the range measurement occasions of affective response to exercise varies between 8 to 13 for perceived exertion, and between 9 to 14 for affective valence. Autonomy support was measured as a manipulation check after cool down using the perceived autonomy subscale of the health care climate questionnaire [34].

**Measurements**

**Perceived exertion**

The difficulty of exercise was measured using Rating of Perceived Exertion scale (RPE) [41] - a 15-point scale ranging from 6 ("no exertion at all") to 20 ("maximal exertion"). The question asked was: "What is your level of exertion at this moment?"

**Feeling Scale**

Single item 11-point bipolar FS [42] was used to assess the affective valence (i.e., pleasure-displeasure). The participants answered the question: "How are you feeling at this moment". The scale ranges from -5 ("very bad") to +5 ("very good") with 0 ("neutral") in the middle.

**Health care climate questionnaire**

The participant's perception of autonomy subscale of health care climate questionnaire [43] was used as a manipulation check. This 5-item subscale measured perceptions of the degree to which the exercise supervisor was autonomy supportive versus controlling (i.e., "I feel that my physician has provided me choices and options"; "My physician encouraged me to ask questions"; "My physician listened to how I would like to do things"; "I don't feel very good about the way my physician talked to me"; "My physician tried to understand how I see things before suggesting a new way to do things"). Answers were rated on a 7-points Likert scale ranging from 1 = "strongly disagree" to 7 = "strongly agree". Exploratory factor analysis with varimax rotation conducted on 5-items has revealed this measure to have one factor solution in which all factors loadings were above. 65. Cronbach's alpha was .79, which was acceptable [44].

**Situational motivation**

Situational motivation was measured at the beginning and at the end of exercise session using 16-item Situational Motivation Scale [45]. This scale mesures 4 dimentions of motivation: intrinsic motivation (e.g., "I do this activity beacause I think it's pleasant"), identified regulation (e.g., "I do this activity because I think it's good for me"), external regulation (e.g., "I do this activity beacause I feel that I have to it"), and amotivation (e.g., "There may be good reasons to do this activity, but personally I don't see any"). The answer's scale ranges from 1 ("Not at all in agreement") to 7 ("Completely in agreement"). Autonomous motivation was calculated as the mean of intrinsic and identified ratings, whereas controlled motivation was calculated as the mean of external and amotivation regulations.

**Statistical analysis**

Normality of the data was assessed using tests of Skewness and Kurtosis and equality of variance was assessed by Levene's test. To examine effect of conditions on manipulation checks (i.e., energy expenditure and perceived autonomy) and on physiological parameters (i.e., percentage of Maximal Heart Rate), two-way (group ×time) repeated measure ANOVA, followed by student's t-test with a Bonferroni correction for multiple comparisons in case of significance, were performed using statistical software STATISTICA version 6 (StatSoft France 2004, www.statsoft.com). Results are expressed as mean ± standard deviation.

To compare the effects of each condition on FS and RPE, we conducted

multilevel analyses, using SPSS (SPSS Statistics, IBM Corp., Armonk, NY) Version 18.0.02. (2009). This analytical strategy is more appropriate than ordinary least squares models (e.g., analysis of variance) because, due to nesting of time measurements within participants, the possibility of dependencies in the data was raised [46]. Another strength of multilevel analyses is that it handles varying measurement occasions (e.g, when the duration of exercise sessions are non-equal in time) in longitudinal data more efficiently than repeated measures analysis of variance [47]. Data were treated as a two-level hierarchical model, consisting of participants at level 1 and repeated measures at level 2. To examine the effect of the three conditions, we computed two sets of two orthogonal contrasts [48]. In the first set, one contrast compared the MICE with HIIE and HIIE+SSI (using -2, 1 and 1, respectively, for MICE, HIIE, and HIIE+SSI), and was labelled 'MICE vs. HIIE-HIIE+SSI'; the other contrasted the HIIE+SSI with the HIIE (by using 0, 1 and -1, respectively, for MICE, HIIE+SSI, and HIIE), and was labelled 'HIIE vs. HIIE+SSI'. As this first set of contrast did not allow the comparison of MICE and HIIE+SSI, we computed a second set of two orthogonal contrasts: the first contrast compared, HIIE with MICE and HIIE+SSI (using -2, 1 and 1, respectively, for HIIE, MICE and HIIE+SSI), and was labelled 'HIIE vs. MICE and HIIE+SSI'; the other contrasted the MICE and HIIE+SSI (by using 0, 1 and -1, respectively, for HIIE, HIIE+SSI and MICE), and was labeled 'MICE vs. HIIE+SSI'.

## Results

### Energy expenditure manipulation check

Comparisons of energy expenditure across the three exercise sessions showed that there were no significant difference in each group between the three sessions ($F(2, 28) = 1.31$, $p = .29$) meaning that the exercise sessions were isocaloric.

### Perceived autonomy manipulation check

The evolution of perceived autonomy (figure 1) is similar in both groups: higher levels are observed after HIIE+SSI compared to HIIE and MICE ($F(2, 26) = 2.53$, $p < .01$).

### Physiological response to exercise

Energy expenditure was significantly greater ($F(1, 14) = 7.39$, $p < .05$) in NW (HIIE: 185±29 kcal; MICE: 185±35 kcal; HIIE+SSI: 178±18 kcal) compared to OO (HIIE: 132±37 kcal; MICE: 140±47 kcal; HIIE+SSI: 130±37 kcal).

As shown in figure 2, during the HIIE session, Heart Rate (as a % HRmax) was significantly greater in NW compared to OO (84.8% ± 3.7% and 73.1% ± 6.8% respectively; p = <.05). During MICE, HR did not significantly differ between NW (77.0% ± 3.0% HRmax) and OO (73.3% ± 5.8% HRmax). During HIIE+SSI, HR was significantly greater in NW compared to OO (86.0% ± 2.7% HRmax in and 76.3% ± 6.1% HRmax respectively, $p < .05$).

### Affective response to exercise

Interclass correlation coefficients from unconditional means models were all above 5%, meaning that there was a hierarchical structure of the data and that multilevel analysis was appropriate [46].

Affective valence

Multilevel analysis revealed (see table 2) no significant main effect of Group ($b = -.13$, *ns*), but a significant main effect of Time and a significant interaction effect Group × Time: the FS decreased across time in both groups ($b = -1.90$ and -1.15 for NW and OO, respectively, $p < .001$), but less in the OO than in the NW ($b = .75$, $p < .05$, table 2) (figure 3a). In addition, results revealed a non-significant interaction effect of Time × Condition ($b = -.09$, *ns*, for 'MICE vs. HIIE-HIIE+SSI', table 2 ; $b = -.65$, *ns* for 'HIIE vs. HIIE+SSI', table 2 ; $b = -.28$, *ns* for 'HIIE vs. 'MICE-HIIE+SSI', table 2 ; and $b = -.46$, *ns* for 'MICE vs. HIIE+SSI', table 2) (figure 3a) meaning that, over time, FS decreased in the same way across conditions. Except for MICE vs. HIIE-HIIE+SSI ($b = -.11$, *ns*, table 2), results revealed also significant interaction effects Group × Condition ($b = -.68$, $p < .01$ for 'HIIE vs. HIIE+SSI', table 2, $b = -.28$, $p < .05$ for HIIE vs. 'MICE-HIIE+SSI', $b = -.51$, $p < .05$ for 'MICE vs. HIIE+SSI', table 2) meaning that, in average, in the NW group but not in the OO, FS was higher in HIIE+SSI condition than in the HIIE and MICE conditions, and that FS was lower in the HIIE condition than in the MICE and in the HIIE+SSI conditions (figure 3a). Finally, results showed no significant interaction effect Group × Time × Condition ($b = .24$, *ns*, for 'MICE vs. HIIE-HIIE+SSI', $b = .65$, *ns* for 'HIIE vs. HIIE+SSI', table 2, $b = .20$, *ns* for 'HIIE vs. 'MICE-HIIE+SSI', and $b = .69$, *ns* for 'MICE vs. HIIE+SSI', table 2) meaning that FS decreased

in the same way in both groups across time. These results are illustrated in figure 3a.

Perceived exertion

Results (see table 3) showed no significant main effect of Group ($b$ = -1.36, *ns*), but a significant main effect of Time and a significant interaction effect Time × Group: the RPE increased across time in both groups ($b$ = 6.98 and 4.03 for NW and OO, respectively, $p$ < .001), but less in OO than in NW ($b$ = -2.95, $p$ < .001) (table 3). In addition, results revealed a significant interaction effect of Time × 'MICE vs. HIIE-HIIE+SSI' ($b$ = .81, $p$ < .05; table 3), a non-significant interaction effect Time × 'HIIE vs. HIIE+SSI' ($b$ = -.19, *ns*; table 3), a non-significant interaction effect Time × 'HIIE vs. MICE-HIIE+SSI' ($b$ = -.50, *ns*; table 3), and a tendential interaction effect Time × 'MICE vs. HIIE+SSI' ($b$ = 1.12, $p$ = .058; table 3) meaning that, over time, RPE increased more in HIIE conditions than the MICE condition, more in HIIE + SSI condition than the MICE condition, and that there was no difference between HIIE and HIIE+SSI (figure 3b). Results revealed also no significant interaction effects Group × Condition (b = -.46, ns for 'MICE vs. HIIE-HIIE+SSI', b = -.32, ns for HIIE vs. HIIE+SS, table 3; b = .07, ns for HIIE vs. MICE- HIIE+SSI, and b = -.85, ns for MICE vs. HIIE+SSI; table 3) meaning that the average scores of RPE are not significantly different in both groups across conditions (figure 3b). Finally, results showed no significant interaction effect Group × Time × Condition except for 'HIIE vs. MICE-HIIE+SSI' ($b$ = .94, $p$ < .05; table 3), meaning that in the NW, RPE increased more in HIIE than in MICE and in HIIE+SSI, but this was not the case in OO. These results are illustrated in figure 3b.

**Situational motivation**

Results of multilevel analysis on autonomous motivation revealed a significant main effect of Group ($b$ = -1.27, $p$ < .05), no significant main effect of Time and Condition, and no significant interaction effect (see table 4). For controlled motivation analyses showed a significant main effect of Group ($b$ = -1.02, $p$ < .05), no significant main effect of Time and Condition, and no significant interaction effect (see table 5). As a whole, these results mean that in average OO group reported both greater autonomous and controlled motivation than the NW group, and that the different exercise conditions did not affect the participants' motivation.

**Discussion**

The purpose of the present study was to examine the effects of HIIE without or with autonomy support (HIIE+SSI), compared to moderate intensity continuous exercise (MICE) on acute affective response during exercise and motivation in overweight/obese and normal-weight participants. Whether HIIE seems to be a promising alternative to MICE that produces similar or better improvements in physical fitness level [49] and in some indicators of cardio metabolic health [50, 51], an unanswered question still remains: is HIIE enough pleasant for obese/ overweight individuals so they will adhere to it?

The main results of the present study show a decrease in affective valence during three exercise sessions in both groups, but contrary to hypothesis 1, the decrease in affective valence was less important in OO compared to NW. This result is discussed below in relation to RPE and physiological response to exercise.

In OO group the affective valence was similar between the three sessions. The fact that the affective valence is decreasing identically in OO group in the three conditions is consistent with the 'vicious circle' described by Ekkekakis et al. (2016) [15] according to which every attempt of PA by obese individuals will result in unpleasant affective experience. However, this is in contradiction with the study of Ekkekakis and Lind (2006) [19] who reported that the SSI condition, relative to the dictated condition, prevented the decrease in affective response to exercise in a sample of obese and normal-weighted women. It also contrasts with the results of Decker and Ekkekakis (2017) [32] who reported that HIIE was associated with less positive affective response than MICE in a sample of obese participants. The experimental conditions combined active ingredients with antagonistic effects on affective response – the effect of SSI favors positive affective response whereas the effects of both HIIE and MICE tend to be negative, because the intensity of exercise might be experienced as intolerable, and the duration of the exercise might be perceived as daunting (see Ekkekakis et al. (2016) [15] – that make difficult to form accurate predictions. With the decrease in affective response in OO participants, we observed a progressive increase of exertion. Moreover, the three experimental conditions resulted in similar physiological response - HR non-

significant between the sessions. In this study similar cardiac stress (HR) combined with similar levels of exertion during the three sessions resulted in similar affective response. These results contrast with those of Decker et al. (2017) [32] where the HIIE produced higher RPE than MICE in obese participants. What's more, the study of Coquart et al. (2008) [52] shows the opposite result in obese participants: the HIIE was less difficult than the MICE condition. These contradictory results could be partially explained by methodological differences between these studies, particularly duration and intensity of exercise. In Decker & Ekkekakis (2017) [32] during HIIE session the subjects performed four 3-min bouts at 115% of ventilatory threshold (VT) interspaced by four 2-min periods of active recovery at 85% of VT. The MICE session consisted on 25-min cycling at 90% of VT. In Coquart et al. (2008) [52] during the HIIE session the subjects alternated eight 2-min intervals at 120% of VT with eight 2-min periods at 80% of VT. During MICE the participants performed 32-min of cycling at 100% VT. In the present study, HIIE protocol consisted on much shorter periods at MAP with passive recovery periods and the intensity of MICE was fixed at 50% of MAP, meaning that HIIE based on short bouts but at higher intensity (compared to the studies cited above) can produce similar affective response as moderate intensity exercise. The exercise characteristics may explain the differences in affective response to exercise in these studies. That's why in this early stage of research on affective response in obese people more studies are needed. A promising perspective is to evaluate the effects of different HIIE protocols of even shorter bouts duration (<30 s) with higher intensities (≥MAP). This study shows that the HIIE with shorter more intense bouts is not necessarily more unpleasant than MICE and is well supported by overweight/ obese individuals, so it may have the potential to increase the physical activity adherence.

The pattern of results was not the same for the NW group who rated the autonomy supported condition as the most pleasant one. The positive affect associated with SSI condition contributed to reduce the decrease of the affective response to exercise across time. This is in line with the results of previous studies which compared MICE with MICE+SSI [19]. Even with HIIE, SSI condition, relative to the dictated condition, is associated with benefits in the affective response to exercise in NW population. In addition, the perceived exertion level was lower in HIIE+SSI and MICE than in HIIE, despite higher percentage in maximal heart rate during both HIIE sessions.

The difference in affective valence and in RPE level between NW and OO could be explained by a different level of physiological stress during each session. Despite the same relative intensity (% of MAP) in OO, heart rate in percentage of maximal heart rate in OO was lower than in NW in both HIIE conditions. Many studies showed that in overweight/ obese individuals even moderate intensities of exercise are associated with some negative somatic symptoms and aversive physiological and biomechanical stimuli (e.g., higher levels of dyspnea, muscular and articular pains) related to the excess of body mass [53-56]. It can be suggested that the difference in physiological exercise response (%HRmax, RPE) between NW and OO can be due to the difference in exercise tolerance as well as in exercise investment. In this study the data on pedaling rate (imposed at 70 to 80 rpm) was not collected. Yet, we observed in OO individuals during HIIE sessions that to reach the imposed pedaling speed they took more time than NW subjects. This leads to the psychological/motivational models of fatigue (e.g., central governor [20]) that can explain the lower physiological involvement in exercise of OO despite the same relative exercise intensity. When the affective load of exercise becomes more negative it can lead to lower fatigue tolerance. As a consequence, it leads up to a decrease in effort investment (e.g., decreased pedaling rate) in order to delay the onset of fatigue. In addition, at the light of this finding, it seems that contrary to the NW population, in OO population the negative afferent sensory discomfort is too strong to be significantly affected by the psychological pleasure associated with autonomy support.

The motivation evaluation in this study shows no differences between the three sessions in OO neither in NW. However, OO group reported higher levels of autonomous as well as controlled motivation. The absence of changes in motivation type between the three conditions can be due to the fact that one session of each type of exercise is not a sufficient stimulus to have the significant impact on motivation. Furthermore, despite the higher perceived autonomy level during the third session the motivation remained unchanged. These may indicate that the two

other psychological needs (competence and relatedness) need to be taken into account to influence the motivation. According to SDT [34, 35], the motivation depends on the satisfaction of all basic psychological needs [34] – the satisfaction of autonomy only seems not to be enough. Moreover, the highest levels of autonomous and controlled motivation in OO than in NW participants can be explained by the fact that OO subjects were voluntary for the study and were already motivated to participate in it. Nevertheless, the level of controlled motivation indicates that their motivation to participate in physical activity is note completely internalized.

In order to appreciate the findings of this study, there are some limitations that need to be taken into account. The low sample size of participants cannot be representative of all obese individuals. In addition, the HIIE used in the present study is not typical of HIIE protocols. Given the multitude of HIIE protocols the type of exercise can be considered only as an example of one of many HIIE protocols. In addition, the duration of MICE was shorter and less intense than recommended to keep energy expenditure equal to HIIE. Finally owing to the isocaloric character of the three exercise sessions it was also necessary to propose non-random order of sessions started by HIIE, followed by MICE and HIIE+SSI.

In conclusion, in a sample of overweight/ obese individuals, three isocaloric exercise sessions produced similar affective response but the perceived autonomy was higher in HIIE+SSI compared to the two other conditions. These results suggest that HIIE can be a promising alternative to MICE if combined with autonomy support. To investigate more deeply this issue, more studies are needed to evaluate the affective response in overweight/obese individuals to training based on HIIE with autonomy support compared to MICE.

## References


1. WHO, Obesity: preventing and managing the global epidemic. 2000: World Health Organization.
2. O'Donovan, G., et al., The ABC of Physical Activity for Health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences. Journal of sports sciences, 2010. 28(6): p. 573-591.
3. Stunkard, A.J. and T.A. Wadden, Psychological aspects of severe obesity. The American journal of clinical nutrition, 1992. 55(2): p. 524S-532S.
4. Synthèse des résultats de la 2ème enquête d'Assureurs Prévention sur le niveau d'activité physique ou sportive (APS) et de sédentarité de la population française adulte, A. Prévention, Editor. 2013.
5. Tudor-Locke, C., et al., How many steps/day are enough? For adults. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2011. 8(79).
6. Andersen, R.E. and J.M. Jakicic, Interpreting the physical activity guidelines for health and weight management. J Phys Act Health, 2009. 6(5): p. 651-6.
7. King, A.C., et al., Personal and environmental factors associated with physical inactivity among different racial-ethnic groups of U.S. middle-aged and older-aged women. Health Psychol, 2000. 19(4): p. 354-64.
8. EuropeanCommission, Special Eurobarometer 412 Sport and physical activity. 2014.
9. Bentham, J., An Introduction to the Principles of Morals and Legislation (Chapters I–V). 1972: Wiley Online Library.
10. Higgins, E.T., Beyond pleasure and pain. American psychologist, 1997. 52(12): p. 1280.
11. Ekkekakis, P. and S.J. Petruzzello, Analysis of the affect measurement conundrum in exercise psychology: I. Fundamental issues. Psychology of Sport and Exercise, 2000. 1(2): p. 71-88.
12. Ekkekakis, P., E.E. Hall, and S.J. Petruzzello, Variation and homogeneity in affective responses to physical activity of varying intensities: an alternative perspective on dose-response based on evolutionary considerations. J Sports Sci, 2005. 23(5): p. 477-500.
13. Rhodes, R.E. and A. Kates, Can the affective response to exercise predict future motives and physical activity behavior? A systematic review of published evidence. Annals of Behavioral Medicine, 2015. 49(5): p. 715-731.
14. Coquart, J.-B., et al., Relevance of the measure of perceived exertion for the rehabilitation of obese patients. Annals of physical and rehabilitation medicine, 2012. 55(9): p. 623-640.
15. Ekkekakis, P., et al., The mysterious case of the public health guideline that is (almost) entirely ignored: call for a research agenda on the causes of the extreme avoidance of physical activity in obesity. Obesity Reviews, 2016.

16. Peyrot, N., et al., Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents? Journal of Applied Physiology, 2009. 106(6): p. 1763-1770.
17. Peyrot, N., et al., Mechanical work and metabolic cost of walking after weight loss in obese adolescents. Medicine and science in sports and exercise, 2010. 42(10): p. 1914-1922.
18. Ward, D.S. and O. Bar-Or, Use of the Borg scale in exercise prescription for overweight youth. Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport, 1990. 15(2): p. 120-125.
19. Ekkekakis, P. and E. Lind, Exercise does not feel the same when you are overweight: the impact of self-selected and imposed intensity on affect and exertion. Int J Obes (Lond), 2006. 30(4): p. 652-60.
20. Noakes, T.D., A.S.C. Gibson, and E. Lambert, From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. British journal of sports medicine, 2005. 39(2): p. 120-124.
21. Noakes, T.D., Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. Applied physiology, nutrition, and metabolism, 2011. 36(1): p. 23-35.
22. Fox, E.L., et al., Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. Med Sci Sports, 1973. 5(1): p. 18-22.
23. Hwang, C.L., Y.T. Wu, and C.H. Chou, Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk factors in people with cardiometabolic disorders: a meta-analysis. J Cardiopulm Rehabil Prev, 2011. 31(6): p. 378-85.
24. Gibala, M.J., et al., Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol, 2012. 590(5): p. 1077-84.
25. Kessler, H.S., S.B. Sisson, and K.R. Short, The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. Sports Med, 2012. 42(6): p. 489-509.
26. Ramos, J.S., et al., The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. Sports Med, 2015. 45(5): p. 679-92.
27. MacInnis, M.J. and M.J. Gibala, Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. J Physiol, 2017. 595(9): p. 2915-2930.
28. Kilpatrick, M.W., M.E. Jung, and J.P. Little, High-intensity interval training: a review of physiological and psychological responses. ACSM's Health & Fitness Journal, 2014. 18(5): p. 11-16.
29. Bartlett, J.D., et al., High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. Journal of sports sciences, 2011. 29(6): p. 547-553.
30. Thum, J.S., et al., High-Intensity Interval Training Elicits Higher Enjoyment than Moderate Intensity Continuous Exercise. PloS one, 2017. 12(1): p. e0166299.
31. Saanijoki, T., et al., Affective responses to repeated sessions of high-intensity interval training. Med Sci Sports Exerc, 2015. 47(12): p. 2604-2611.
32. Decker, E.S. and P. Ekkekakis, More efficient, perhaps, but at what price? Pleasure and enjoyment responses to high-intensity interval exercise in low-active women with obesity. Psychology of Sport and Exercise, 2017. 28: p. 1-10.
33. Oliveira, B.R., et al., Continuous and high-intensity interval training: which promotes higher pleasure? PLOS one, 2013. 8(11): p. e79965.
34. Deci, E.L. and R.M. Ryan, The" what" and" why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. Psychological inquiry, 2000. 11(4): p. 227-268.
35. Deci, E.L., A.H. Olafsen, and R.M. Ryan, Self-determination theory in work organizations: the state of a science. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 2017. 4(1).
36. Ekkekakis, P., Let Them Roam Free? Sports Medicine, 2009. 39(10): p. 857-888.
37. Teixeira, P.J., et al., Exercise, physical activity, and self-determination theory: a systematic review. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2012. 9(1): p. 78.
38. Deci, E.L. and R.M. Ryan, Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. Canadian psychology/Psychologie canadienne, 2008. 49(3): p. 182.
39. Rose, E. and G. Parfitt, Exercise experience influences affective and motivational outcomes of prescribed and self-selected intensity exercise. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2012. 22(2): p. 265-277.
40. Vazou-Ekkekakis, S. and P. Ekkekakis, Affective consequences of imposing the

intensity of physical activity: does the loss of perceived autonomy matter. Hellenic Journal of Psychology, 2009. 6(2): p. 125-144.
41. Borg, G., Borg's perceived exertion and pain scales. 1998: Human kinetics.
42. Hardy, C.J. and W.J. Rejeski, Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. Journal of Sport and Exercise Psychology, 1989. 11: p. 304-317.
43. Williams, G.C., et al., Motivational predictors of weight loss and weight-loss maintenance. Journal of personality and social psychology, 1996. 70(1): p. 115.
44. Nunnally, J., Psychometric methods. 1978, New York: McGraw-Hill.
45. Guay, F., R.J. Vallerand, and C. Blanchard, On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). Motivation and emotion, 2000. 24(3): p. 175-213.
46. Bryk, A.S. and S.W. Raudenbush, Hierarchical linear models for social and behavioral research: Applications and data analysis methods. 1992, Newbury Park, CA: Sage.
47. Muth, C., et al., Alternative models for small samples in psychological research: applying linear mixed effects models and generalized estimating equations to repeated measures data. Educational and Psychological Measurement, 2016. 76(1): p. 64-87.
48. Judd, C.M., G.H. McClelland, and C.S. Ryan, Data analysis: A model comparison approach. Second Edition ed. 2008, San Diego: Routledge.
49. Weston, K.S., U. Wisløff, and J.S. Coombes, High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. British journal of sports medicine, 2014. 48(16): p. 1227-1234.
50. Kessler, H.S., S.B. Sisson, and K.R. Short, The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. Sports medicine, 2012. 42(6): p. 489-509.
51. Batacan, R.B., et al., Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. Br J Sports Med, 2017. 51(6): p. 494-503.
52. Coquart, J.B., et al., Intermittent versus continuous exercise: effects of perceptually lower exercise in obese women. Med Sci Sports Exerc, 2008. 40(8): p. 1546-53.
53. Babb, T.G., Obesity: challenges to ventilatory control during exercise—a brief review. Respiratory physiology & neurobiology, 2013. 189(2): p. 364-370.
54. Lafortuna, C.L., Physiological bases of physical limitations during exercise, in Disabling obesity. 2013, Springer. p. 21-38.
55. Browning, R.C., Locomotion mechanics in obese adults and children. Current Obesity Reports, 2012. 1(3): p. 152-159.
56. Arena, R. and L.P. Cahalin, Evaluation of cardiorespiratory fitness and respiratory muscle function in the obese population. Progress in cardiovascular diseases, 2014. 56(4): p. 457-464.

Figures

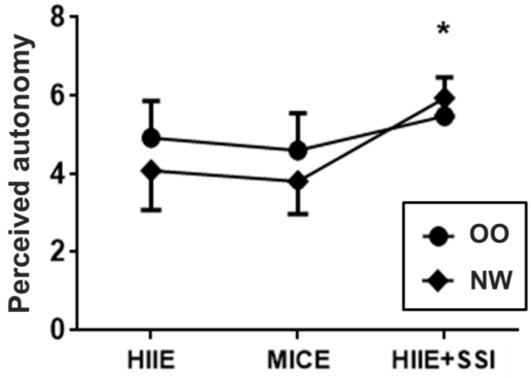



Figure 1. Perceived autonomy level during three experimental conditions: HIIE, MICE and HIIE+SSI in NW and OO.
* significantly different, p<.05

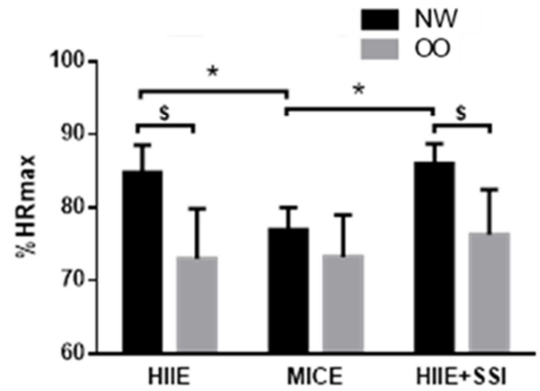



Figure 2. Heart rate (as a % HRmax) during three experimental conditions: HIIE, MICE and HIIE+SSI in NW and OO.
* significantly different between the conditions in NW, p<.05; $ significantly different between NW and OO

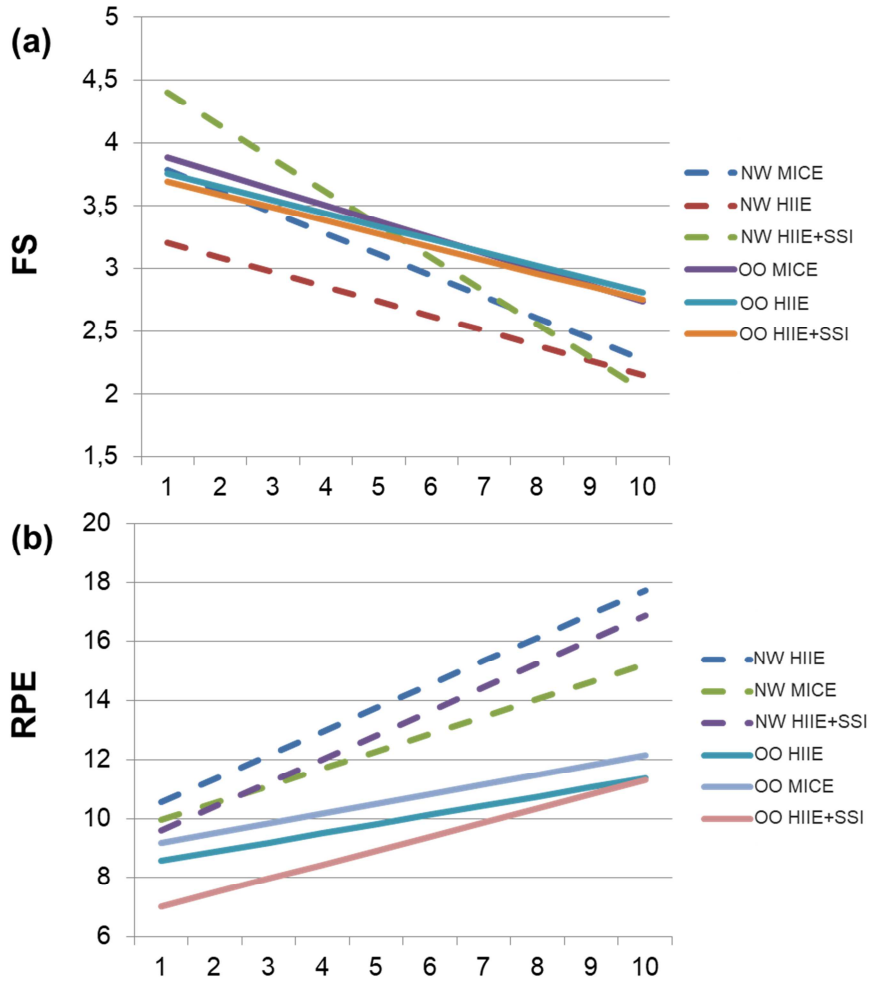



Figure 3. (a) Affective valence (FS) and (b) perceived exertion level (RPE) during three experimental conditions: HIIE, MICE and HIIE+SSI in NW and OO.

Tables

Table 1. Subject's characteristics.

* Significantly different between Obese and Normal-weight, $p < .05$

| | **Obese** (n=10) | **Normal-weight** (n=6) |
|---|---|---|
| **Age** years | 54.5 ± 9.2* | 27.8 ± 1.8 |
| **Height** cm | 175.3 ± 7.6 | 176.8 ± 6.8 |
| **Weight** kg | 99.5 ± 17.2* | 68.3 ± 7.8 |
| **BMI** $kg.m^{-2}$ | 32.3 ± 4.6* | 21.8 ± 2.1 |
| **Maximal Aerobic Power** watt | 182.5 ± 72.5* | 283.3 ± 39.5 |

Table 2. Effect of time, group and series on FS.

Group: 0 for NW, 1 for OO

| | | Unconditional model *b* (SE) | Conditional model *b* (SE) |
|---|---|---|---|
| Fixed effect | Intercept | 3.21 (0.41)*** | 4.00 (0.66)*** |
| | Time | | -1.90 (0.29)*** |
| | Group | | -0.13 (0.84) |
| | MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.01 (0.11) |
| | HIIEvsHIIE+SS | | 0.64 (0.19)*** |
| | HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.32 (0.11)** |
| | MICEvsHIIE+SSI | | 0.34 (0.19) |
| | Group × Time | | 0.75 (0.37)* |
| | Time × MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.09 (0.20) |
| | Time × HIIEvsHIIE+SSI | | -0.66 (0.36) |
| | Time × HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.28 (0.21) |
| | Time × MICEvsHIIE+SSI | | -0.46 (0.35) |
| | Group × MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.12 (0.14) |
| | Group × HIIEvsHIIE+SSI | | -0.68 (0.24)** |
| | Group ×HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.28 (0.14)* |
| | Group × MICEvsHIIE+SSI | | -0.51 (0.24)* |
| | Time × Group × MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.24 (0.25) |
| | Time × Group × HIIEvsHIIE+SSI | | 0.65 (0.46) |
| | Time × Group × HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.20 (0.26) |
| | Time × Group × MICEvsHIIE+SSI | | 0.69 (0.44) |
| Random effect | Level 1 | 1.44 (0.09)*** | 1.19 (0.07)*** |
| | Level 2 | 2.61 (0.94)** | 2.61 (0.98)** |
| Test of significance | -2logV | 1629.46 | 1538.70 |
| | $\chi^2(\delta\phi)$ | | 90.76 (11)*** |
| Effect size | | | - |

Table 3. Effect of time, group and series on RPE.
Group: 0 for NW, 1 for OO

| | | Unconditional model<br>*b* (SE) | Conditional model<br>*b* (SE) |
|---|---|---|---|
| Fixed effect | Intercept | 11.05 (0.66)*** | 9.06 (0.94)*** |
| | Time | | 6.98 (0.48)*** |
| | Group | | -1.36 (1.19) |
| | MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.32 (0.21) |
| | HIIEvsHIIE+SS | | -0.37 (0.37) |
| | HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.35 (0.21) |
| | MICEvsHIIE+SSI | | 0.30 (0.37) |
| | Group × Time | | -2.95 (0.6)*** |
| | Time × MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.81 (0.34)* |
| | Time × HIIEvsHIIE+SSI | | -0.19 (0.59) |
| | Time × HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.50 (0.34) |
| | Time × MICEvsHIIE+SSI | | 1.12 (0.59) |
| | Group × MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.46 (0.26) |
| | Group × HIIEvsHIIE+SSI | | -0.32 (0.47) |
| | Group × HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.07 (0.27) |
| | Group × MICEvsHIIE+SSI | | -0.85 (0.46) |
| | Time × Group × MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.67 (0.42) |
| | Time × Group × HIIEvsHIIE+SSI | | 1.23 (0.76) |
| | Time × Group × HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.95 (0.43)* |
| | Time × Group × MICEvsHIIE+SSI | | -0.40 (0.74) |
| Random effect | Level 1 | 6.16 (0.42)*** | 3.14 (0.22)*** |
| | Level 2 | 6.77 (2.47)** | 4.78 (1.72)** |
| Test of significance | -2logV | 2113.24 | 1820.73 |
| | $\chi^2$ ($\delta\phi$) | | 292.51 (11)*** |
| Effect size d | $d_{Time\times group\times HIIEvsMICE\text{-}HIEE=SSI}$ | | 1.49 |

Table 4. Effect of time, group and series on autonomous motivation.
Group: 1 for NW, 0 for OO

| | | Unconditional model<br>*b* (SE) | Conditional model<br>*b* (SE) |
|---|---|---|---|
| Fixed effect | Intercept | 6.05 (0.28)*** | 6.45 (0.40)*** |
| | Time | | 0.20 (0.13) |
| | Group | | -1.27 (0.56)* |
| | MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.17 (0.16) |
| | HIIEvsHIIE+SS | | 0.002 (0.31) |
| | HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.08 (0.13) |
| | MICEvsHIIE+SSI | | 0.25 (0.35) |
| | Group * Time | | -0.11 (0.18) |
| | Time*MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.08 (0.09) |
| | Time*HIIEvsHIIE+SSI | | -0.01 (0.16) |
| | Time*HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.04 (0.09) |
| | Time*MICEvsHIIE+SSI | | -0.13 (0.16) |
| | Group* MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.22 (0.23) |
| | Group*HIIEvsHIIE+SSI | | -0.24 (0.44) |
| | Group*HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.01 (0.18) |
| | Group*MICEvsHIIE+SSI | | -0.45 (0.50) |
| | Time*Group*MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.10 (0.13) |
| | Time*Group*HIIEvsHIIE+SSI | | 0.08 (0.22) |
| | Time*Group*HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.01 (0.12) |
| | Time*Group*MICEvsHIIE+SSI | | 0.19 (0.23) |
| Random effect | Level 1 | 0.19 (0.03)*** | 0.17 (0.03)*** |
| | Level 2 | 1.26 (0.46)** | 0.79 (0.29)** |
| Test of significance | -2logV | 170.63 | 157.42 |
| | $\chi^2$ ($\delta\phi$) | | 13.21 (11) |
| Effect size d | | | - |

Table 5. Effect of time, group and series on controled motivation.
Group: 1 for NW, 0 for OO

| | | Unconditional model<br>*b* (SE) | Conditional model<br>*b* (SE) |
|---|---|---|---|
| Fixed effect | Intercept | 2.55 (0.16)*** | 3.08 (0.28)*** |
| | Time | | 0.001 (0.13) |
| | Group | | -1.02 (0.39)* |
| | MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.10 (0.16) |
| | HIIEvsHIIE+SS | | 0.34 (0.30) |
| | HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.12 (0.12) |
| | MICEvsHIIE+SSI | | 0.32 (0.34) |
| | Group * Time | | 0.04 (0.18) |
| | Time*MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.07 (0.09) |
| | Time*HIIEvsHIIE+SSI | | -0.11 (0.15) |
| | Time*HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.02 (0.09) |
| | Time*MICEvsHIIE+SSI | | -0.16 (0.16) |
| | Group* MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | -0.09 (0.22) |
| | Group*HIIEvsHIIE+SSI | | -0.36 (0.42) |
| | Group*HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | -0.14 (0.17) |
| | Group*MICEvsHIIE+SSI | | -0.31 (0.48) |
| | Time*Group*MICEvsHIIE-HIIE+SSI | | 0.06 (0.13) |
| | Time*Group*HIIEvsHIIE+SSI | | 0.08 (0.21) |
| | Time*Group*HIIEvsMICE-HIIE+SSI | | 0.01 (0.12) |
| | Time*Group*MICEvsHIIE+SSI | | 0.13 (0.22) |
| Random effect | Level 1 | 0.17 (0.03)*** | 0.16 (0.03)*** |
| | Level 2 | 0.38 (0.14)** | 0.17 (0.07)* |
| Test of significance | -2logV | 145.86 | 130.12 |
| | $\chi^2$ ($\delta\phi$) | | 15.74 (11) |
| Effect size d | | | - |

## 2.4. ÉTUDE HYPINT

L'obésité est une pathologie responsable du développement des maladies (e.g., maladies cardiovasculaires, du diabète de type 2, des troubles ostéo-articulaires, de certains cancers) [110], mais aussi de nombreux troubles psychosociaux (e.g., altération de la qualité de vie, de la perception et de l'estime de soi, troubles du comportement alimentaire, troubles de l'humeur, dépression, discrimination, isolement social) [232]. Le traitement le plus efficace de cette pathologie consiste à associer une restriction calorique et une augmentation du niveau d'AP [124]. L'AP permet de prévenir la perte de la masse maigre et ainsi d'augmenter la dépense énergétique totale de repos [124]. De plus, l'AP régulière diminue le risque de développement de maladies métaboliques et cardiovasculaires (voire les améliore) [24]. Mais, pour la plupart des personnes obèses il est très difficile de suivre les recommandations en matière d'AP [8] (60 à 90 minutes par jour d'AP à intensité modérée [233]).

En croisant la littérature en physiopathologie et en psychologie de la santé, deux pistes prometteuses ressortent pour améliorer l'adhésion à l'AP des personnes obèses : le soutien de l'autonomie et l'EII (voir état des connaissances : chapitre 2.1 – pour EII et chapitre 2.2.6 - pour le soutien de l'autonomie). Dans cette perspective, nous avons entrepris une étude de recherche clinique permettant d'étudier les effets de l'EII associé au soutien de l'autonomie sur la réponse physio-pathologique (i.e., aptitude aérobie, morbidité vasculaire et métabolique, composition corporelle) et la réponse affective (i.e., valence affective, perception de l'effort, motivation) à court (après 2 mois de prise en charge au laboratoire) et à long termes (après 4 mois en autonomie). L'effet de cette modalité d'exercice a été comparé à un programme d'exercice d'intensité modérée continu isocalorique ainsi qu'à un groupe contrôle. Les résultats présentés dans cette thèse sont obtenus à mi-parcours et ne concernent que la moitié des patients prévus dans cette étude de recherche clinique HYPINT. L'étude se poursuit actuellement et devrait se terminer dans le courant de l'année 2018.

### 1. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est de comparer les effets à court (+2 mois, c'est-à-dire immédiatement post réentraînement) et long termes (+6 mois) de trois types de modalités de réentraînement à l'exercice (EII, EIMC et EII+SA) *vs* groupe contrôle (C) sur la condition physique, la santé cardiovasculaire et métabolique, ainsi que sur la

motivation envers l'AP et la réponse affective à l'exercice de la personne en surpoids/obèse.

Trois hypothèses principales ont été formulées : 1) les modifications induites par les deux modalités de réentrainement basées sur l'exercice intense (EII et EII+SA) sur la condition physique ($\dot{V}O_{2pic}$, PMA), sur les statuts vasculaire et métabolique et sur la composition corporelle seront plus importantes que celles obtenues lors de l'EIMC ou dans le C ; 2) l'EII+SA et l'EII seront plus efficaces que l'EIMC en termes de maintien à long terme (après 4 mois d'AP en autonomie) de la condition physique de la personne en surpoids/obèses ; 3) comparé à l'EII et l'EIMC, l'EII+SA induira une réponse affective à l'exercice plus positive, une plus grande motivation autonome, une meilleure satisfaction des besoins psychologiques fondamentaux et une intention de faire de l'AP plus importante.

## 2. Méthodes

### 2.1. Population

Quarante-trois participants ont été inclus (11 dans EII, 11 dans EIMC, 10 dans EII+SA et 9 dans C). Les participants ont été recrutés au cours d'une consultation dans l'unité d'Explorations fonctionnelles cardiorespiratoire CHU nord (suivi du traitement de leur apnée du sommeil) et Médecine du Sport CHU Sud de Grenoble (consultation pour évaluation des conséquences du surpoids et de l'obésité en vue d'une remédiation) sur la base des critères suivants :

| *Critères d'inclusion* | *Critères de non inclusion* |
|---|---|
| - personnes âgées de 18 à 65 ans<br>- personnes en surpoids ou obèses non morbides (27 <IMC<35 kg.m$^{-2}$)<br>- sujets sédentaires (moins de deux heures d'activité physique structurée par semaine)<br>- poids stable (perte de moins de 5 %) ou en augmentation au cours des 3 mois précédents<br>- absence de maladie chronique ou traitement qui pourrait interférer avec le statut inflammatoire bas grade et les perturbations métaboliques associées au surpoids/obésité | - diabétiques traités par insuline ou diabétiques mal contrôlés (HbA1c > 8%)<br>- syndrome coronaire aigu de moins de 12 mois<br>- AVC / AIT de moins de 12 mois<br>- insuffisance cardiaque<br>- troubles du comportement alimentaire de type boulimie-vomissements<br>- maladie auto-immune ou inflammatoire évolutive nécessitant un traitement au long cours<br>- variation de poids supérieure à 2 % du poids total dans les 3 mois précédant l'étude<br>- chirurgie bariatrique récente datant de moins de 18 mois en raison des variations de masse grasse induites par la chirurgie<br>- contre-indication à la pratique d'activité physique intense pathologie tumorale, inflammatoire, infectieuse, cardiaque, pulmonaire, rénale, digestive (syndrome de malabsorption) ou hépatique, connues. Les complications hépatiques de l'obésité (stéatose hépatique non alcoolique, NASH) ne constituaient pas une contre-indication,<br>- apnée du sommeil ou syndrome d'hypoventilation non traité. |

## 2.2. Protocole expérimental

Chaque participant intègre le protocole suite à une consultation de médecine du sport et de l'exercice incluant un examen clinique complet et la vérification des critères d'inclusion à l'issue de laquelle il donne son consentement éclairé. Ensuite, chaque patient réalise une épreuve d'effort cardio-respiratoire maximale progressive sur ergocycle permettant de vérifier l'absence de contre-indication au réentraînement. Ce protocole de recherche clinique a reçu l'approbation du comité d'éthique local (Comité de Protection des Personnes Sud Est V : 2014-A01482-45/1).

Les patients sont alors randomisés en 4 sous-groupes : exercice d'intensité modérée continu (EIMC), exercice intermittent intense (EII), exercice intermittent intense avec soutien de l'autonomie (EII+SA) et groupe contrôle (C).

Chaque participant accomplit 3 demi-journées d'évaluations – le schéma expérimental est présenté sur la Figure 1.

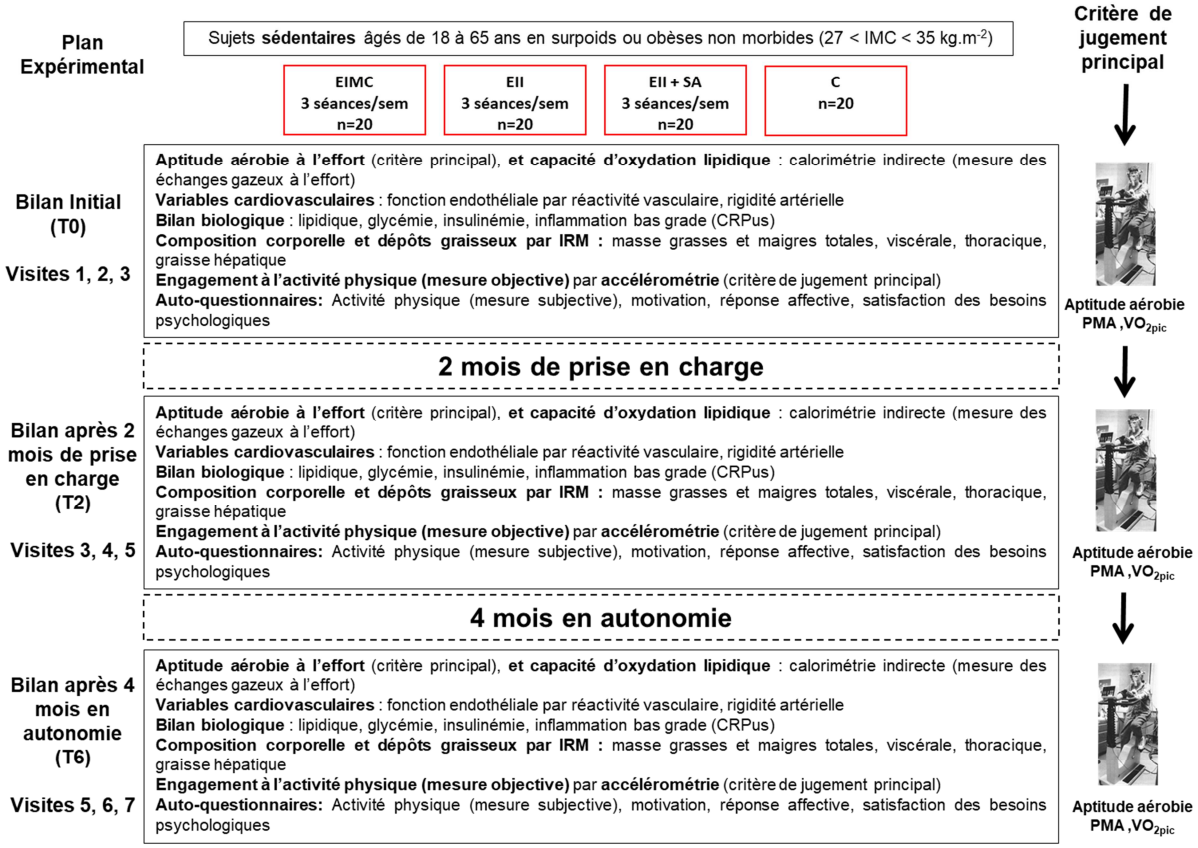



***Figure 1.*** *Schéma expérimental.*

Après les évaluations à T0, les sujets s'entraînent à raison de 3 séances par semaine pour chaque groupe pendant 2 mois. Toutes les informations relatives aux modalités de réentrainement ainsi qu'aux mesures réalisées se trouvent dans la

partie « MATERIEL & METHODES » de ce manuscrit (voir les chapitres : « 1.10. Mesure des variables sociocognitives » et « 1.13. Modalités de réentraînement »).

Les trois demi-journées de tests sont réalisées à l'identique des visites de T0 après deux mois d'entrainement (T2). Par la suite, les sujets reçoivent un guide post-prise en charge (Annexe B et C) pour pouvoir continuer l'AP en autonomie pendant 4 mois. Après cette période, les participants reviennent au laboratoire pour refaire les évaluations de fin de protocole (six mois après l'évaluation initiale, T6). A T6, les sujets sont évalués de la même façon qu'à T0 et T2.

### 2.3. Analyse statistique

La normalité des valeurs et l'homogénéité des variances ont été testées respectivement à l'aide des tests de Skewness et Kurtosis et de Levene. Pour examiner les effets de l'intervention sur les variables physiologiques, compte tenu de la faible taille des échantillons, nous avons réalisé des tests non paramétriques. La comparaison des variations des variables physiologiques entre T0 et T2 et entre T2 et T6 pour chaque groupe ont été réalisées à l'aide de tests non paramétriques des rangs de Wilcoxon et la comparaison des variations entre T0 et T2 et entre T2 et T6 entre les différents groupes à l'aide de test de Mann et Whitney. La comparaison de la fréquence d'apparition d'une pathologie entre les groupes a été réalisée à l'aide du test de Chi-2. Les analyses des variables physiologiques ont été réalisées avec le logiciel Statistica® version 6 (StatSoft France 2004, www.statsoft.com).

Les questionnaires (i.e., échelles de mesure des variables sociocognitives) n'ayant pas été proposés au groupe contrôle, ce dernier n'a pas été pris en compte dans l'analyse des variables psychologiques. L'évolution au cours du temps des variables psychologiques et de la fréquence cardiaque a été examinée grâce à des analyses multi-niveaux. Ces analyses permettent de contrôler l'effet de dépendance des données, et de mieux prendre en compte les données manquantes (pour plus de détails, voir études 2 et 3). Concernant la fréquence cardiaque, la valence affective, et la perception de l'effort nous avons réalisé des modèles de croissance à trois niveaux (i.e., les temps de mesures au niveau 1, les participants au niveau 2, et les séances au niveau 3). Pour examiner l'évolution de la réponse affective post-séance mesurée grâce à l'ADACL, un modèle de croissance à deux niveaux (i.e., les temps de mesures au niveau 1, les participants au niveau 2) a été réalisé en contrôlant l'effet autorégressif de l'ADACL mesuré avant la

séance. Enfin, pour tester l'évolution de la motivation autonome, de la motivation contrainte, de la satisfaction du besoin d'autonomie, et de l'intention, des modèles de croissance à deux niveaux (i.e., les temps de mesures au niveau 1, les participants au niveau 2) ont été réalisés.

Pour comparer les 3 conditions (EII, EIMC, EII+SA), 2 séries de contrastes composés chacun de 2 variables ont été construits. Dans la première série, la première variable de contraste comparait EII à EIMC et EII+SA, et la deuxième variable a contrasté EIMC et EII+SA. Dans la deuxième série, la première variable de contraste a comparé EII+SA à EII et EIMC, et la deuxième variable a contrasté EII et EIMC. Chacune des 2 variables de contraste de ces 2 séries ont été codées respectivement : 2, -1, -1 et 0, -1, 1. Ces analyses ont été réalisées à l'aide de logiciel SPSS (SPSS Statistics, IBM Corp., Armonk, NY) Version 18.0.02. (2009).

## 3. Résultats

Les résultats présentés ci-dessous sont intermédiaires car le protocole est toujours en cours.

*Population*

Quarante-trois patients âgés de 27 à 64 ans ont été randomisés mais quarante et un patients au maximum (mais pas pour toutes les variables en raison de données manquantes) ont pu être analysés entre T0 et T2 et 23 patients seulement entre T2 et T6 (Tableau 1).

| Groupe | T0 | T2 | T6 |
|---|---|---|---|
| C | 9 (0 pour actimétrie) | 9 | 2 |
| EIMC | 11 | 11 | 7 |
| EII | 11 | 11 | 7 |
| EII+SA | 10 | 10 | 7 |

***Tableau 1.*** *Effectifs maximum sur lesquels nous avons pu baser nos analyses statistiques à savoir la comparaison des variations entre T0 et T2 et entre T2 et T6 pour chaque groupe à l'aide de tests non paramétriques des rangs de Wilcoxon et comparaison des variations entre T2 et T0 et entre T6 et T2 entre les différents groupes à l'aide de test de Mann et Whitney.*

Les principales pathologies affectant les patients inclus ainsi que le nombre de patients répondant aux critères de Alberti et al. (2005) [234] ou Grundy et al. (2005) [235] pour la classification d'un syndrome métabolique sont répertoriés dans le Tableau 2. La répartition de ces pathologies ainsi que le nombre de personnes atteintes d'un syndrome métabolique sont assez similaires entre les groupes (test du chi-2).

| Groupe | Nombre de patients obèses | Nombre de patients en surpoids | Nombre d'hypertendus | Nombre d'insuffisants coronariens | Nombre de patients diabétiques | Nombre de patients ayant un syndrome métabolique |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Contrôle | 8/9 | 1/9 | 2/9 | 0/9 | 2/9 | 6/9 |
| EIMC | 7/11 | 4/11 | 4/11 | 1/11 | 2/11 | 4/11 |
| EII | 4/11 | 7/11 | 3/11 | 0/11 | 1/11 | 6/11 |
| EII+SA | 7/10 | 3/10 | 4/10 | 0/10 | 1/10 | 5/10 |

***Tableau 2.*** *Les principales pathologies affectant les participants.*

*Caractéristiques des participants*

Les caractéristiques des patients sont présentées dans le Tableau 3 et le Tableau 4.

| Groupe | Ratio F/H | Age (années) | Poids (kg) | Taille (cm) | IMC ($kg.m^{-2}$) | AP modérée (minutes) | Nombre pas (n/jour) | Activités sédentaires (minutes) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Contrôle n=9 n=0 pour actimétrie | 3/6 | 53 ± 11 | 90,4 ± 12,5 | 168 ± 7 | 32,0 ± 3,2 | DM | DM | DM |
| EIMC n=11 n=9 pour actimétrie | 3/8 | 56 ± 11 | 89,5 ± 11,8 | 169 ± 7 | 31,8± 3,2 | 96 ± 62 | 8638 ± 3878 | 1006 ± 149 |
| EII n=11 | 2/9 | 55 ± 8 | 96,2 ± 15,6 | 175 ± 9 | 31,2± 3,4 | 97 ± 54 | 7996 ± 2806 | 999 ± 127 |
| EII +SA n=10 n=4 pour actimétrie | 2/8 | 56 ± 7 | 92,8 ± 15,2 | 170 ± 9 | 31,8± 3,05 | 90 ± 61 | 8892 ± 2000 | 1091 ± 92 |

***Tableau 3.*** *Caractéristiques des participants analysés entre T0 et T2.*
*Abréviations : F – Femme ; H – Homme, DM – données manquantes. Le nombre de données manquantes pour l'actimétrie est important en raison d'un dysfonctionnement de l'accéléromètre.*

| Groupe | Ratio F/H | Age (années) | Poids (kg) | Taille (cm) | IMC ($kg.m^{-2}$) | AP modérée (minutes) | Nombre pas (n/jour) | Activités sédentaires (minutes) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Contrôle n=2 | 1/1 | 53 ± 6 | 82,5 ± 9,9 | 158 ± 3 | 32,9 ± 5,4 | DM | DM | DM |
| EIMC n=7 n=5 pour actimétrie | 2/5 | 53 ± 13 | 90,1 ± 12,0 | 167 ± 5 | 32,4± 4,0 | 76 ± 28 | 8484 ± 4203 | 969 ± 156 |
| EII n=7 n=4 pour actimétrie | 1/6 | 55 ± 9 | 101,8 ± 15,9 | 176 ± 10 | 33,4± 3,3 | 122 ± 71 | 9188 ± 3816 | 966 ± 160 |
| EII +SA n=7 n=1 pour actimétrie | 1/6 | 59 ± 6 | 94,1 ± 17,5 | 170 ± 9 | 32,4± 3,0 | 146 ± 0 | 11219 ± 0 | 993± 0 |

***Tableau 4.*** *Caractéristiques des participants analysés entre T2 et T6.*
*Abréviations : F – Femme ; H – Homme, DM – données manquantes. Le nombre de données manquantes pour l'actimétrie est important en raison d'un dysfonctionnement de l'accéléromètre.*

La majorité des participants analysés entre T0 et T2 sont obèses et présentent un IMC de 31,7±3,2 $kg.m^{-2}$ avec, plus précisément, 26 patients en situation d'obésité et 15 en surpoids. La majorité des participants analysés entre T2 et T6 sont obèses et

présentent un IMC de 32,8±3,2 $kg.m^{-2}$ avec, plus précisément, 14 patients en situation d'obésité et 7 en surpoids.

Grâce à l'accéléromètre, nous avons pu mesurer le niveau d'AP des participants en début de protocole (hormis pour le groupe contrôle). Nous pouvons constater qu'en moyenne le niveau d'AP de base se situe dans les recommandations pour les personnes obèses (70 à 97 minutes d'AP par jour). En effet, par exemple, la durée quotidienne d'AP d'intensité modérée s'établit à 94±59 minutes pour des participants analysés entre T0 et T2 (tous les sujets pratiquent au moins 30 minutes d'activité physique modérée spontanée par jour) et à 114±33 minutes pour les individus analysés entre T2 et T6. De même, le nombre de pas quotidien moyen s'établit à 8509±2895 pas pour les participants analysés entre T0 et T2 et à 9630±2673 pas pour des participants analysés entre T2 et T6 pour une recommandation générale de 10000 pas par jour. Cependant, 9 patients seulement marchent plus de 10000 pas, dont 4 dans le groupe EIMC, 2 dans le groupe EII, 3 dans le groupe EII+SA. Enfin, le temps passé à des activités sédentaires moyen est extrêmement important puisqu'il approche 1000 minutes (soit 17 h) sur une période de 24 heures.

### 3.1. Variables mesurés au cours des évaluations

Avant d'analyser, les effets de l'entraînement, nous avons vérifié que les différents programmes induisaient la même dépense énergétique. L'analyse montre que les entraînements (24 séances) dans les 3 groupes expérimentaux ont produit une dépense énergétique similaire (EII : 220,3±58,8 kcal/séance ; EII+SA : 209,4±28,8 kcal/séance ; EIMC : 228, 7±28,1 kcal/séance).

*Composition corporelle et fraction de graisse hépatique*

***Entre T0 et T2***

Le poids, le tour de taille, les masses grasses totales, thoraciques et viscérales, la masse maigre des membres inférieurs ne sont modifiées significativement dans aucun des groupes (Tableau 5).

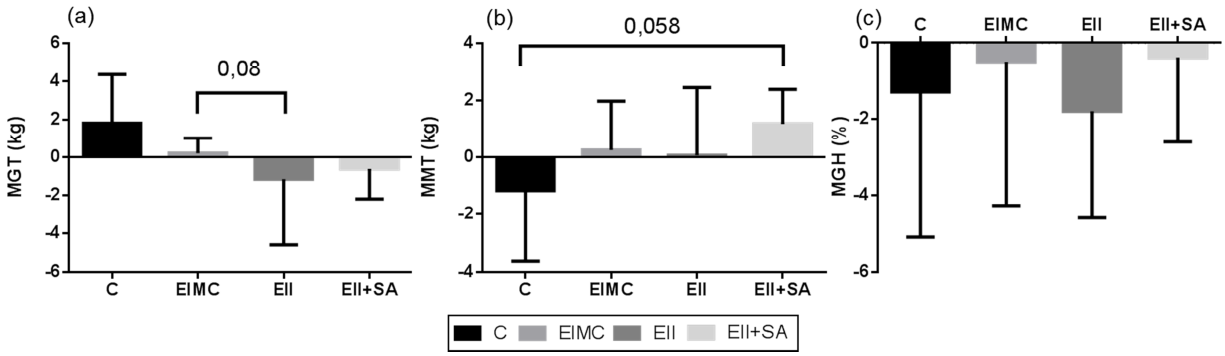



***Figure 2.*** *Moyennes des variations entre T2 et T0 : a. de la masse grasse totale, b. de la masse maigre totale, et c. de la masse grasse hépatique dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*

On observe cependant une diminution significative à T2 du tour de hanche (-1,0% ; $p$=0,023 ; Tableau 5) et une augmentation de la masse maigre totale dans EII+SA (+2,0 % ; $p$=0,017 ; Tableau 5). Seule cette variation de la masse maigre totale entre T0 et T2 dans EII+SA tend à être supérieure à celle obtenue dans C (+1,2±1,2 kg *vs* 1,2±2,5 kg ; $p$=0,058 ; Figure 2.b), celle du tour de hanche ne différant pas de celle des autres groupes (Figure 3). On note également, une diminution moyenne de la masse grasse hépatique à T2 qui tend à être significative dans le groupe EII (-11 %, $p$=0,098). Cette variation entre T0 et T2 ne diffère pas significativement de celles des autres groupes (Figure 2.c).

Notons également une diminution de la masse grasse totale dans EII qui tend à différer de la variation obtenue dans le groupe EIMC (-1,1±3,4 kg *vs* 0,2±0,8 kg ; $p$=0,08 ; Figure 2.a).

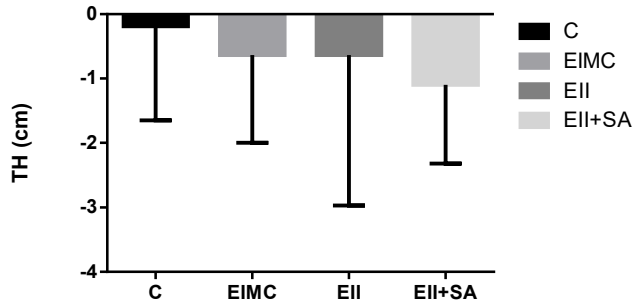



***Figure 3.*** *Moyennes des variations entre T2 et T0 du tour de hanche dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*

***Entre T2 et T6***

On observe une tendance à la baisse de la masse grasse totale dans EIMC (-2,4% ; *p*=0,094 ; Tableau 6) et des masses grasses thoracique (-8,5% ; *p*=0,062) et viscérale dans le groupe EII (-9,4% ; *p*=0,062) (Tableau 6).

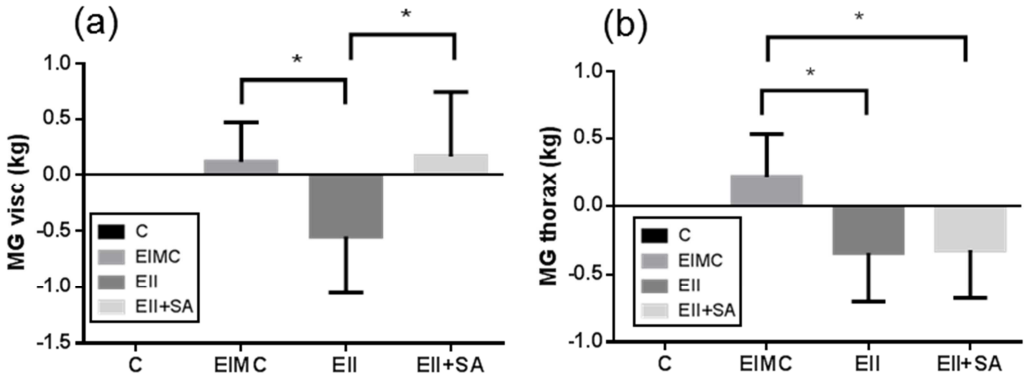



***Figure 4.*** *Moyennes des variations entre T6 et T2 : a. de la masse grasse viscérale, et b. de la masse grasse thoracique dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*
*Différences significatives appréciées par test de Mann et Whitney : * p<0,05.*

La diminution de masse grasse viscérale entre T2 et T6 est significativement plus importante dans le groupe EII que les variations obtenues dans les groupes EIMC et EII+SA (-0,5±0,5 kg et +0,1±0,3 kg *vs* 0,2±0,6 kg; *p*=0,035 et 0,050 respectivement; Figure 4). Une tendance à la baisse de la masse grasse thoracique est également observée dans le groupe EII+SA (-7,5% ; *p*=0,078). La diminution de masse grasse thoracique entre T2 et T6 est plus importante dans les groupes EII et EII+SA que la variation obtenue dans le groupe EIMC (-0,3±0,4 kg et -0,3±0,4 kg *vs* 0,2±0,3 kg; *p*=0,021 et 0,029 respectivement; Figure 4).

*Endurance cardio-respiratoire*

Les résultats des variables obtenues à l'exercice musculaire sont présentés dans le Tableau 7 (évolution entre T0 et T2) et le Tableau 8 (évolution entre T2 et T6) ci-dessous.

***Entre T0 et T2***

Pour les groupes EII et EII+SA, la comparaison entre T0 et T2 au sein de chaque groupe montre une augmentation de PMA (EII : +10,4 % ; EII+SA : +15,7 %), de $\dot{V}O_{2pic}$

exprimé en valeur absolue (EII : +9,0 % ; EII+SA : +12,9 %), en valeur relative au poids (EII : +9,1 % ; EII+SA : +12,3 %) ou en % de la valeur prédictive (EII : +8,5 % ; EII+SA : +14,2 %) (Tableau 7). La puissance mécanique au seuil ventilatoire 1 tend à être plus élevée après T2 dans les groupes EII (+12,9 % ; $p$=0,06) et EII+SA (+9,4 % ; $p$=0,06), alors que la puissance au SV2 est significativement plus élevée dans ces mêmes groupes (+14,8 % ; $p$=0,002 et +13,2 % ; $p$=0,016 pour EII et EII+SA respectivement).

L'augmentation de PMA post-programme est significativement plus élevée pour EII+SA que pour EIMC et C (EII+SA : +25±10 W *vs* EIMC : +3±11 W ; $p$<0,01 et *vs* C : -1±12 W ; $p$<0,001 ; Figure 5.a) et pour EII que pour EIMC et C (EII : +19±13 W *vs* EIMC : +3±11 W ; $p$<0,01 et *vs* C : -1±12 W ; $p$<0,05 ; Figure 5.a). Ce constat s'applique aussi pour le pic de $\dot{V}O_2$ en valeur absolue (EII+SA : + 0,3 ± 0,11 L.min$^{-1}$ *vs* EIMC : 0,0±0,1 L.min$^{-1}$; $p$<0,001 et *vs* C : 0,0±0,1 L.min$^{-1}$; p<0,001, et EII : +0,2±0,1 L.min$^{-1}$ *vs* EIMC : 0,0±0,1 L.min$^{-1}$; $p$<0,01 et *vs* C : 0,0±0,1 L.min$^{-1}$; p<0,01 ; Figure 5.c) ou rapporté au poids (EII+SA : +2,9±1,1 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$ *vs* EIMC : +0,3±1,4 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$; $p$<0,001 et *vs* C : -0,2±1,4 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$; $p$<0,001, et EII : +2,2±1,4 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$ *vs* EIMC : +0,3±1,4 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$; $p$<0,01 et *vs* C : -0,2±1,4mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$; $p$<0,01 ; Figure 5.d).

Lorsque, le $\dot{V}O_2$ est exprimé en valeur relative à la prédictive, on observe une augmentation plus importante pour EII+SA que pour EIMC et C (EII+SA : +17±4 % *vs* EIMC : +3±8 % ; $p$<0,001 et vs C : 0±7 % ; $p$<0,001 ; Figure 5.e) mais aussi que EII (EII : +10±7 % ; $p$<0.05). L'augmentation induite par EII est également plus importante que la variation obtenue dans C (EII vs C : +10±7 % *vs* 0±7 % ; $p$<0,05) et tend à être plus élevée que celle obtenue dans EIMC (EII : +10±7 % *vs* EIMC : +3±8 % ; $p$<0,076 ; Figure 5.e).

Enfin, l'augmentation de la puissance au seuil ventilatoire 2 post programme (Figure 5.b) tend à être plus élevée pour EII+SA que pour EIMC (EII+SA : +17±17 W *vs* EIMC : +6±11 W ; $p$<0,08) et est significativement plus élevée que C (C : +2±6 W ; $p$<0,05). Par ailleurs, cette augmentation est également plus importante pour EII que pour EIMC et C (EII : +20±11 W *vs* EIMC : +6±11 W ; $p$<0,01 et *vs* C : +4±8 W ; $p$<0,01).

Notons cependant, que la fréquence cardiaque maximale atteint une valeur significativement plus faible à T2 dans le groupe EIMC (T0 : 157±17 batt.min$^{-1}$ *vs* T2 : 148±22 batt.min$^{-1}$ ; $p$=0,012, c'est-à-dire respectivement 92% et 87% de la valeur théorique). La lactatémie atteinte à T2 dans ce groupe tend également à être plus faible (T0 : 8,25±1,79 mmol.L$^{-1}$ *vs* T2 : 7,15±1,56 mmol.L$^{-1}$) (Tableau 7).

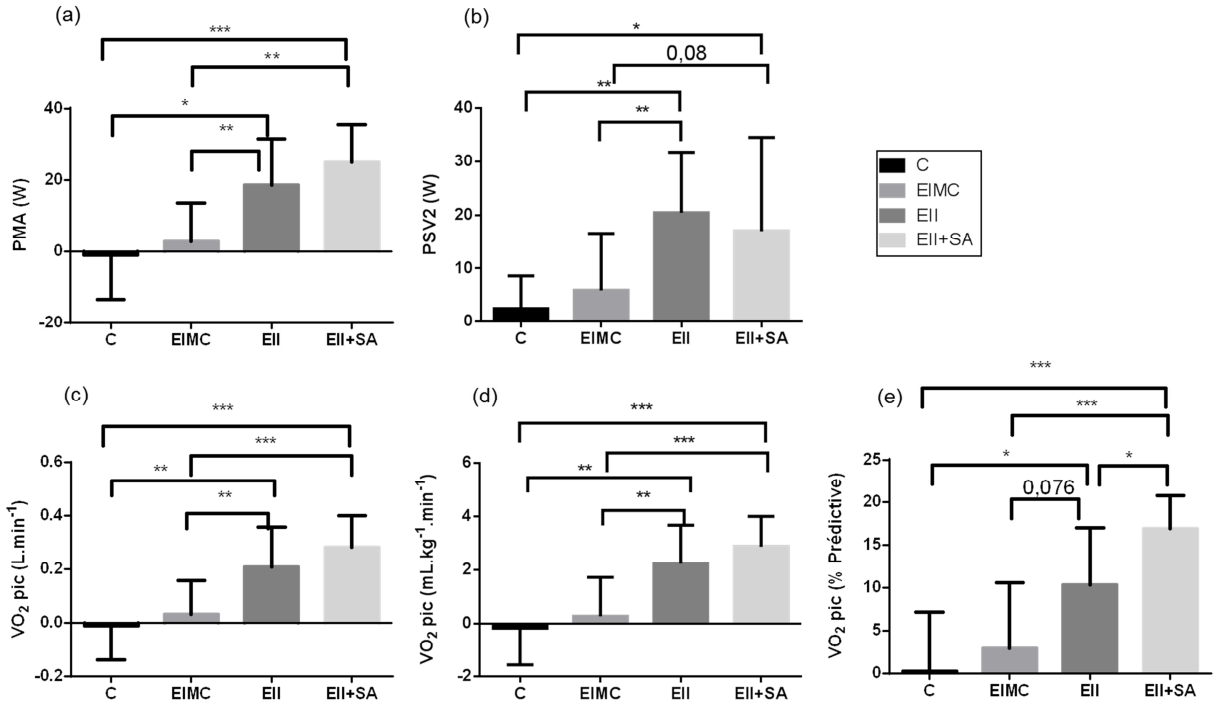



***Figure 5.*** *Comparaison des variations pré-post entraînement (T2-T0) des données de l'épreuve d'effort maximale progressive (a. puissance maximale aérobie ; b. puissance au seuil ventilatoire 2 ; c. $\dot{V}O_{2pic}$ en valeur absolue ; d. $\dot{V}O_{2pic}$ rapporté au poids ; e. $\dot{V}O_{2pic}$ en valeur relative de la prédictive) dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*

*Différences significatives appréciées par test de Mann et Whitney : * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.*

### *Entre T2 et T6*

Compte tenu du nombre de données manquantes importantes à T6 dans le groupe contrôle, ce groupe n'a pas pu être pris en compte dans les analyses (Tableau 8). Pour les groupes EII et EII+SA, la comparaison entre T2 et T6 au sein de chaque groupe montre en moyenne une diminution de PMA et de $\dot{V}O_{2pic}$ quel que soit son mode d'expression (valeur absolue, valeur relative au poids ou à la valeur prédictive). Cette diminution n'est pas significative pour EII. En revanche, pour EII+SA, PMA (-10,0% ; $p$=0,06), $\dot{V}O_{2pic}$ exprimé en valeur absolue (-8,4% ; $p$=0,06) ou en % de la théorique (-7,2% ; $p$=0,06) tendent à diminuer à T6 par rapport à T2 et $\dot{V}O_{2pic}$ exprimé en valeur relative au poids diminue significativement de 7,4 % ($p$=0,047) (Tableau 8).

La diminution de $\dot{V}O_{2pic}$ en valeur absolue obtenue dans EII+SA est significativement plus importante que celle obtenue dans EIMC (EII+SA : -0,2±0,2 L.min$^{-1}$ *vs* EIMC : 0,0±0,2 L.min$^{-1}$; $p$<0,05 ; Figure 6.a). De même, la diminution de $\dot{V}O_{2pic}$ rapportée au poids obtenue dans EII+SA est plus importante que la

variation induite dans EIMC (EII+SA : - 2±2 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$ *vs* EIMC : 0±2 mL.kg$^{-1}$.min$^{-1}$; $p$<0,05, Figure 6.b). A noter pour EII, que les diminutions entre T6 et T2 de PMA et de $\dot{V}O_2$ (quel que soit son mode d'expression) sont en moyenne du même ordre de grandeur que celles obtenues dans EII+SA (Figure 6.a et 6.b).

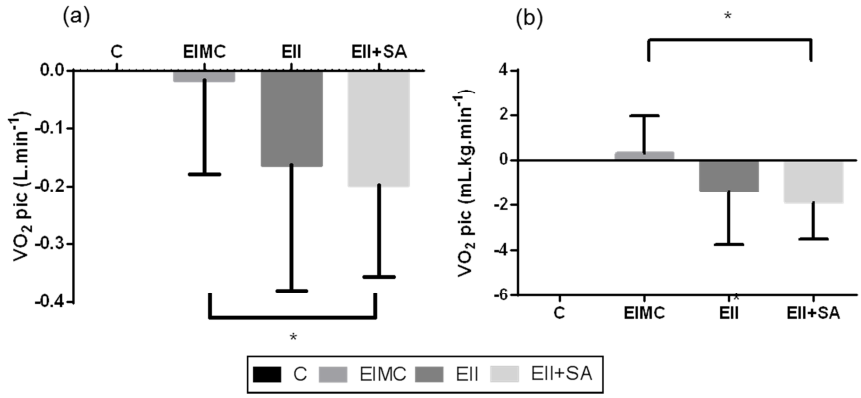



***Figure 6.*** *Comparaison des variations T6 - T2 des données de l'épreuve d'effort maximale progressive (a. $\dot{V}O_{2pic}$ en valeur absolue ; b. $\dot{V}O_{2pic}$ rapporté au poids) dans les 4 groupes expérimentaux C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII: exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*
*Différences significatives appréciées par test de Mann et Whitney : * p<0,05.*

*Adaptation métabolique à l'exercice*

***Entre T0 et T2***

Seule la puissance à Lipox$_{max}$ à T2 augmente significativement par rapport à T0 dans le groupe EIMC uniquement (+17,6% ; $p$=0,019 ; Tableau 7). Cette augmentation ne diffère pas significativement de celle des autres groupes (Figure 7).

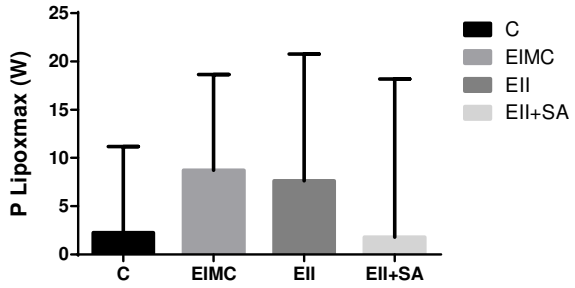



***Figure 7.*** *Comparaison des variations T2 - T0 de la puissance à Lipox$_{max}$ dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*

***Entre T2 et T6***

Compte tenu du nombre de données manquantes importantes à T6 dans le groupe contrôle, ce groupe n'a pas pu être pris en compte dans les analyses.

Les variations entre T6 et T2 des différentes variables métaboliques ne diffèrent pas quel que soit le groupe considéré (Tableau 8).

*Fonction vasculaire*

***Entre T0 et T2***

La vitesse de l'onde de pouls à T2 diminue significativement par rapport à T0 dans les groupes contrôle (-11,9% ; $p$=0,008 ; Tableau 9) et EIMC uniquement (-8,2% ; $p$=0,047 ; Tableau 9).

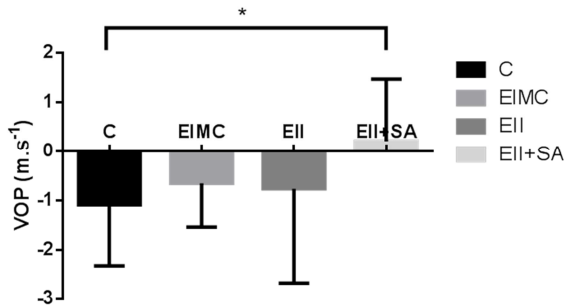



***Figure 8.*** *Comparaison des variations pré-post entraînement (T2 -T0) de la vitesse de l'onde de pouls dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*
*Différences significatives appréciées par test de Mann et Whitney : * p<0,05.*

La diminution de l'onde de pouls dans le groupe contrôle diffère significativement de celle du groupe EII+SA (C : -1,1±0,4 m.s$^{-1}$ *vs* EII+SA: 0,2±0,4 m.s$^{-1}$; $p$<0,05 ; Figure 8).

***Entre T2 et T6***

Aucune des variables représentant la fonction vasculaire (vitesse de l'onde de pouls, réactivité vasculaire, pression artérielle mesurée en clinique) ne varie significativement entre T2 et T6 dans aucun des groupes (Tableau 10).

*Variables biologiques*

***Entre T0 et T2***

Aucune des variables biologiques (du profil lipidique, de l'équilibre glycémique et de l'inflammation) ne varie significativement entre T0 et T2 dans aucun des groupes (Tableau 11).

***Entre T2 et T6***

Aucune des variables biologiques (du profil biologique, de l'équilibre glycémique et de l'inflammation) ne varie significativement entre T2 et T6 dans aucun des groupes hormis HOMA2%S qui augmente de 25% ($p$=0,047 ; Tableau 12) alors que HOMA2%B tend à diminuer (-24% ; $p$=0,078) dans EIMC. Cette diminution est en valeur absolue plus importante que la variation de la hausse moyenne non significative de HOMA2%B entre T2 et T6 dans le groupe EII (EIMC : -29±45 % *vs* EII : +15±21 %; $p$=0,02 ; Figure 9.b). Par ailleurs, elle tend à être supérieure également à celle du groupe EII+SA ($p$=0,097).

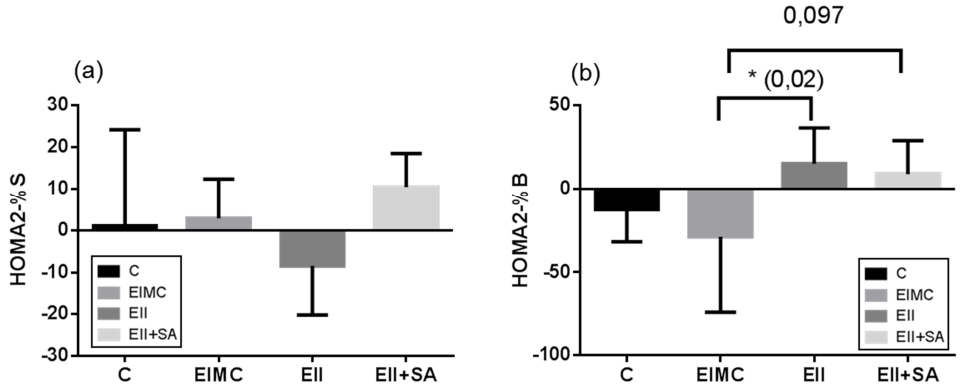



***Figure 9.*** *Comparaison des variations T6 - T2 : a. de HOMA2%S, et b. HOMA2%B dans les 4 groupes expérimentaux C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*
*Différences significatives appréciées par test de Mann et Whitney : * p<0,05.*

*Niveau d'activité physique spontanée*

***Entre T0 et T2***

Le nombre de données manquantes étant tellement important dans le groupe contrôle qu'il n'a pas pu être analysé. Aucune des données d'actimétrie n'évolue entre T0 et T2 (Tableau 13). On note cependant une tendance à la baisse du nombre de pas dans le groupe EIMC (-13%; $p$=0,055). Mais cette variation ne diffère pas de celle des autres groupes (Figure 10).

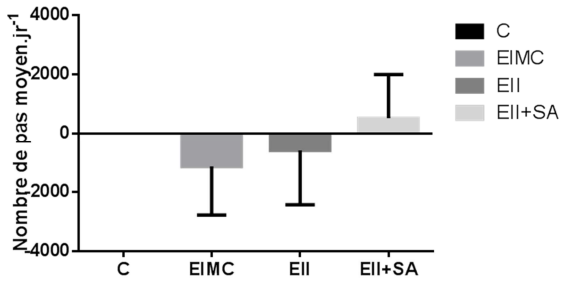



***Figure 10.*** *Comparaison des variations pré-post entraînement (T2 -T0) du nombre de pas moyen quotidien dans les 4 groupes expérimentaux : C : contrôle; EIMC : exercice d'intensité modérée continu; EII : exercice intermittent intense; EII+SA : exercice intermittent intense + soutien de l'autonomie.*

***Entre T2 et T6***

Aucune des données d'actimétrie n'évolue entre T2 et T6 (Tableau 14).

## *Tableaux de l'analyse des variables mesurés au cours des évaluations*

| | Contrôle (*n*=9) | | EIMC (*n*=11) | | EII (n=11) | | EII+SA (n=10) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** |
| **Poids,** kg | 90,4 ± 12,5 | 90,8 ± 13,1 | 89,5 ± 11,8 | 90,0 ± 12,0 | 96,2 ± 15,6 | 95,5 ± 14,4 | 92,8 ± 15,2 | 93,3 ± 15,0 |
| **TT,** cm | 109,6 ± 6,3 | 108,8 ± 7,0 | 108,7 ± 8,0 | 108,0 ± 8,8 | 111,0 ± 7,5 | 110,2 ± 6,6 | 108,7 ± 11,4 | 107,6 ± 11,6 |
| **TH,** cm | 108,5 ± 8,5 | 108,3 ± 8,9 | 105,5 ± 8,3 | 104,9 ± 8,3 | 107,6 ± 8,3 | 106,9 ± 7,4 | 106,3 ± 7,6 | 105,2 ± 7,4* |
| **MG,** kg | 32,4 ± 6,8 | 33,8 ± 6,8 | 32,1 ± 10,0 | 32,4 ± 10,1 | 32,0 ± 8,6 | 30,8 ± 7,8 | 32,4 ± 6,4 | 31,8 ± 5,9 |
| **MM,** kg | 58,8 ± 8,8 | 57,8 ± 10,4 | 57,4 ± 9,7 | 57,6 ± 10,1 | 64,8 ± 13,6 | 64,5 ± 14,9 | 60,4 ± 10,7 | 61,6 ± 11,4* |
| **MG thoracique,** kg | 6,0 ± 0,5 | 6,5 ± 0,9 | 5,3 ± 1,6 | 5,5 ± 1,8 | 4,3 ± 1,4 | 4,4 ± 1,4 | 5,1 ± 1,4 | 5,3 ± 1,3 |
| **MG viscérale,** kg | 5,5 ± 2,4 | 5,5 ± 3,0 | 4,9 ± 2,2 | 5,2 ± 2,6 | 5,7 ± 2,7 | 5,9 ± 2,6 | 6,6 ± 2,8 | 6,8 ± 3,2 |
| **MM membres inf.,** kg | 14,2 ± 2,7 | 13,8 ± 3,0 | 14,3 ± 2,4 | 14,4 ± 2,4 | 16,6 ± 3,8 | 17,3 ± 3,5 | 15,3 ± 3,1 | 15,4 ± 3,3 |
| **Fraction graisse hépatique,** % | 14,8 ± 6,4 | 13,5 ±7,0 | 13,7 ± 9,1 | 13,3 ± 8,9 | 16,1 ± 9,0 | 14,3 ± 8,0 | 12,2 ± 8,8 | 11,8 ± 7,8 |

***Tableau 5.*** *Moyenne ± SD des données variables de composition corporelle obtenues à T0 et T2 dans les 4 groupes.*
** Différence significative dans le groupe EII+SA entre pré et post : p<0.05*

| | Contrôle (*n*=2) | | EIMC (*n*=7) | | EII (n=7) | | EII+SA (n=7) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** |
| **Poids,** kg | 82,5 ± 9,5 | 81,5 ± 9,2 | 90,9 ± 12,3 | 88,7 ± 11,1 | 100,1 ± 14,9 | 100,2 ± 16,4 | 94,65 ± 17,5 | 93,8 ± 16,7 |
| **TT,** cm | 105,5 ± 2,1 | 105,0 ± 1,4 | 106,6 ± 10,6 | 105,6 ± 10,2 | 111,6 ± 7,7 | 111,4 ± 6,7 | 109,0 ± 13,6 | 108,2 ± 12,2 |
| **TH,** cm | 112,2 ± 10,2 | 110,0 ± 12,7 | 105,0 ± 10,5 | 104,7 ± 9,1 | 109,0 ± 8,6 | 108,0 ± 7,8 | 106,7 ± 8,2 | 106,2 ± 7,9 |
| **MG,** kg | DM | DM | 33,4 ± 12,6 | 32,6 ± 12,0 | 31,1 ± 8,9 | 30,3 ± 8,0 | 32,7 ± 6,6 | 31,8 ± 6,0 |
| **MM,** kg | DM | DM | 57,6 ± 10,1 | 56,1 ± 6,0 | 64,5 ± 14,9 | 65,5 ± 11,4 | 61,6 ± 11,4 | 62,0 ± 11,0 |
| **MG thoracique,** kg | DM | DM | 5,5 ± 1,8 | 5,7 ± 1,9 | 4,7 ± 1,6 | 4,3 ± 1,5 | 5,3 ± 1,3 | 4,9 ± 1,3 |
| **MG viscérale,** kg | DM | DM | 5,0 ± 2,4 | 5,1 ± 2,4 | 6,4 ± 2,7 | 5,8 ± 2,6 | 6,8 ± 3,2 | 6,8 ± 3,2 |
| **MM membres inf.,** kg | DM | DM | 14,4 ± 1,9 | 14,2 ± 1,8 | 16,1 ± 3,2 | 16,1 ± 3,7 | 15,3 ± 3,5 | 14,7 ± 2,8 |
| **Fraction graisse hépatique,** % | DM | DM | 13,4 ± 11,2 | 12,9 ± 10,2 | 14,4 ± 8,3 | 13,9 ± 6,6 | 15,1 ± 6,9 | 15,0 ± 8,0 |

***Tableau 6.*** *Moyenne ± SD des données variables de composition corporelle obtenues à T2 et T6 dans les 4 groupes.*
*DM : données manquantes.*

| | Contrôle (*n*=6) | | EIMC (*n*=11) | | EII (n=11) | | EII+SA (n=10) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** |
| ***Épreuve maximale*** | | | | | | | | |
| **PMA,** Watts | 124 ± 44 | 128 ± 35 | 148 ± 30 | 150 ± 25 | 173 ± 47 | 191 ± 56** | 159 ± 24 | 184 ± 34** |
| **$\dot{V}O_2$ pic,** $L.min^{-1}$ | 1,64 ± 0,50 | 1,66 ± 0,42 | 2,02 ± 0,34 | 2,06 ± 0,28 | 2,31 ± 0,54 | 2,52 ± 0,64 ** | 2,16 ± 0,28 | 2,44 ± 0,39 ** |
| **$\dot{V}O_2$ pic,** $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ | 18,7 ± 4,6 | 18,6 ± 4,1 | 22,7 ± 3,5 | 23,0 ± 3,0 | 24,1 ± 4,8 | 26,3 ± 5,3 ** | 23,5 ± 2,6 | 26,4 ± 3,4 ** |
| **$\dot{V}O_2$, % théorique** | 102 ± 18 | 102 ± 16 | 115 ± 19 | 118 ± 21 | 117 ± 27 | 127 ± 29** | 120 ± 14 | 137 ± 13 ** |
| **FC max,** bpm | 152 ± 8 | 157 ± 13 | 157 ± 17 | 148 ± 22* | 164 ± 12 | 163 ± 15 | 158 ± 14 | 162 ± 15 |
| **QR max** | 1,10 ± 0,06 | 1,07 ± 0,07 | 1,09 ± 0,05 | 1,08 ± 0,04 | 1,06 ± 0,07 | 1,08 ± 0,04 | 1,08 ± 0,06 | 1,08 ± 0,05 |
| **Lactatémie,** $mmol.L^{-1}$ | 7,97 ± 1,62 | 8,92 ± 2,05 | 8,25 ± 1,79 | 7,15 ± 1,56 | 8,62 ± 2,42 | 9,12 ± 1,45 | 8,38 ± 2,58 | 8,87 ± 2,05 |
| ***Seuils ventilatoires*** | | | | | | | | |
| **P SV1**, Watts | 76 ± 25 | 81 ± 22 | 97 ± 22 | 103 ± 21 | 108 ± 32 | 122 ± 38 | 106 ± 20 | 116 ± 26 |
| **P SV2**, Watts | 100 ± 33 | 105 ± 29 | 121 ± 28 | 127 ± 23 | 135 ± 35 | 155 ± 40** | 129 ± 18 | 146 ± 30* |
| ***Épreuve sous maximale*** | | | | | | | | |
| **P $Lipox_{max}$,** Watts | 39 ± 17 | 41 ± 17 | 51 ± 18 | 60 ± 16* | 65 ± 24 | 73 ± 18 | 67 ± 13 | 69 ± 20 |
| **$Lipox_{max}$, % PMA** | 31 ± 4 | 32 ± 7 | 34 ± 8 | 40 ± 9* | 37 ± 9 | 38 ± 7 | 42 ± 9 | 37 ± 7 |
| **MFO,** $mg.min^{-1}$ | 169,6 ± 22,4 | 199,8 ± 43,3 | 221,3 ± 69,2 | 219,6 ± 80,2 | 271,2 ± 99,2 | 265,8 ± 94,2 | 245,1 ± 63,4 | 235,3 ± 71,6 |

***Tableau 7.*** *Moyenne ± SD des données obtenues lors de l'épreuve maximale progressive et lors de l'épreuve métabolique à T0 et T2 dans les 4 groupes.*

** Différence significative dans le groupe EIMC et EII+SA entre pré et post : p<0.05*

*** Différence significative dans le groupe EII et EII+SA entre pré et post : p<0.01*



| | Contrôle (*n*=2) | | EIMC (*n*=7) | | EII (n=7) | | EII+SA (n=7) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** |
| ***Épreuve maximale*** | | | | | | | | |
| **PMA,** Watts | 97 ± 32 | 90 ± 0 | 149 ± 19 | 147 ± 11 | 204 ± 54 | 189 ± 42 | 179 ± 25 | 161 ± 28 |
| **$\dot{V}O_2$ pic,** $L.min^{-1}$ | 1,28 ± 0,12 | 1,36 ± 0 | 2,03 ± 0,21 | 2,02 ± 0,13 | 2,66 ± 0,61 | 2,50 ± 0,48 | 2,38 ± 0,29 | 2,18 ± 0,32 |
| **$\dot{V}O_2$ pic,** $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ | 15,5 ± 0,3 | 16,8 ± 1,9 | 22,7 ± 3,7 | 23,0 ± 3,0 | 26,6 ± 4,9 | 25,2 ± 5,0 | 25,5 ± 2,8 | 23,6 ± 3,7* |
| **$\dot{V}O_2$, % théorique** | 87 ± 5 | 93 ± 4 | 116 ± 26 | 115 ± 20 | 135 ± 25 | 129 ± 26 | 138 ± 15 | 128 ± 21 |
| **FC max,** bpm | 152 ± 21 | 134 ± 11 | 147 ± 26 | 147 ± 27 | 159 ± 15 | 154 ± 16 | 161 ± 16 | 156 ± 18 |
| **QR max** | 1,04 ± 0,13 | 1,09 ± 0,05 | 1,08 ± 0,04 | 1.10 ± 0,02 | 1,07 ± 0,04 | 1,08 ± 0,04 | 1,08 ± 0,05 | 1,07 ± 0,08 |
| **Lactatémie,** $mmol.L^{-1}$ | 7,45 ± 1,34 | 7,40 ± 2,69 | 7,31 ± 1,94 | 7,97 ± 1,08 | 9,50 ± 0,62 | 8,03 ± 1,53 | 8,64 ± 0,81 | 8,34 ± 1,11 |
| ***Seuils ventilatoires*** | | | | | | | | |
| **P SV1**, Watts | 60 ± 21 | 53 ± 11 | 99 ± 18 | 95 ± 19 | 135 ± 33 | 126 ± 34 | 116 ± 22 | 106 ± 11 |
| **P SV2**, Watts | 75 ± 21 | 68 ± 11 | 122 ± 16 | 116 ± 20 | 166 ± 35 | 159 ± 39* | 137 ± 21 | 134 ± 18 |
| ***Épreuve sous maximale*** | | | | | | | | |
| **P $Lipox_{max}$,** Watts | 32 ± 21 | 38 ± 14 | 54 ± 10 | 50 ± 8 | 78 ± 20 | 70 ± 12 | 62 ± 19 | 66 ± 15 |
| **$Lipox_{max}$, % PMA** | 33 ± 4 | 42 ± 7 | 36 ± 8 | 34 ± 9 | 38 ± 9 | 37 ± 7 | 35 ± 9 | 40 ± 7 |
| **MFO,** $mg.min^{-1}$ | 200,0 ± 22, 6 | 184,0 ± 70,7 | 224,2 ± 84,2 | 207,6 ± 43,1 | 311,6 ± 95,7 | 232,2 ± 67,1 | 224,5 ± 78,6 | 213,8 ± 37,5 |

***Tableau 8.*** *Moyenne ± SD des données obtenues lors de l'épreuve maximale progressive et lors de l'épreuve métabolique à T2 et T6 dans les 4 groupes (le groupe contrôle est quand même présenté bien qu'il n'est constitué que de 2 sujets).*

** Différence significative dans le groupe EII+SA entre pré et post : p<0.05*

| | Contrôle (*n*=9) | | EIMC (*n*=11) | | EII (n=11) | | EII+SA (n=10) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** |
| **VOP,** $m.s^{-1}$ | 9,16 ± 2,12 | 8,07 ± 1,45** | 7,87 ± 1,31 | 7,22 ± 0,92* | 8,88 ± 1,79 | 8,12 ± 1,45 | 7,69 ± 1,03 | 7,90 ± 1,16 |
| **RV,** u.a. | 2,14 ± 0,67 | 1,92 ± 0,45 | 2,08 ± 0,45 | 2,13 ± 0,53 | 2,07 ± 0,68 | 1,90 ± 0,32 | 2,15 ± 0,65 | 2,27 ± 0,63 |
| **PAS,** mmHg | 144 ± 28 | 135 ± 16 | 130 ± 15 | 126 ± 14 | 136 ± 14 | 133 ± 15 | 133 ± 18 | 124 ± 16 |
| **PAD,** mmHg | 81 ± 12 | 81 ± 12 | 77 ± 12 | 76 ± 10 | 85 ± 11 | 83 ± 9 | 81 ± 11 | 77 ± 10 |

***Tableau 9.*** *Moyenne ± SD des données fonctionnelles vasculaires obtenues à T0 et T2 dans les 4 groupes.*

** Différence significative dans le groupe EMIC entre pré et post avec p<0.05*

*** Différence significative dans le groupe Contrôle entre pré et post : p<0.01*

| | Contrôle (*n*=2) | | EIMC (*n*=7) | | EII (n=7) | | EII+SA (n=7) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** |
| **VOP,** $m.s^{-1}$ | 8,50 ± 1,41 | 7,95 ± 1,48 | 7,09 ± 0,99 | 7,04 ± 1,10 | 8,62 ± 1,65 | 8,92 ± 0,67 | 8,19 ± 1,13 | 8,47 ± 2,31 |
| **RV,** u.a. | 1,97 ± 0,30 | 1,76 ± 0,23 | 2,29 ± 0,58 | 1,88 ± 0,31 | 1,93 ± 0,30 | 2,00 ± 0,63 | 2,12 ± 0,59 | 2,19 ± 0,64 |
| **PAS,** mmHg | 120 ± 0 | 125 ± 21 | 126 ± 18 | 124 ± 24 | 132 ± 18 | 131 ± 12 | 129 ± 17 | 124 ± 19 |
| **PAD,** mmHg | 75 ± 7 | 75 ± 7 | 77 ± 13 | 79 ± 7 | 79 ± 6 | 80 ± 6 | 80 ± 11 | 74 ± 5 |

***Tableau 10.*** *Moyenne ± SD des données fonctionnelles vasculaires obtenues à T2 et T6 dans les 4 groupes.*



| | Contrôle (*n*=6) | | EIMC (*n*=11) | | EII (n=11) | | EII+SA (n=10) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** |
| **CT**, $g.\ L^{-1}$ | 2,04 ± 0,36 | 2,00 ± 0,14 | 1,96 ± 0,44 | 1,92 ± 0,37 | 1,92 ± 0,28 | 2,01 ± 0,31 | 1,84 ± 0,46 | 1,83 ± 0,42 |
| **Triglycérides**, $g.\ L^{-1}$ | 1,58 ± 0,55 | 1,92 ± 0,76 | 1,51 ± 0,91 | 1,54 ± 1,04 | 1,30 ± 0,59 | 1,36 ± 0,60 | 1,28 ± 0,42 | 1,34 ± 0,63 |
| **HDL**, $g.\ L^{-1}$ | 0,51 ± 0,16 | 0,49 ± 0,17 | 0,50 ± 0,13 | 0,53 ± 0,17 | 0,53 ± 0,17 | 0,52 ± 0,15 | 0,51 ± 0,11 | 0,50 ± 0,12 |
| **LDL**, $g.\ L^{-1}$ | 1,26 ± 0,40 | 1,44 ± 0,74 | 1,21 ± 0,42 | 1,15 ± 0,38 | 1,09 ± 0,14 | 1,19 ± 0,21 | 1,10 ± 0,40 | 1,07 ± 0,41 |
| **CT/HDL** | 5,28 ± 3,08 | 5,13 ± 2,57 | 4,11 ± 1,28 | 4,00 ± 1,35 | 3,81 ± 1,13 | 4,04 ± 1,00 | 3,67 ± 0,68 | 3,83 ± 1,22 |
| **CRP-us,** $mg.L^{-1}$ | 7,81 ± 12,24 | 3,87 ± 2,80 | 6,03 ± 8,81 | 3,27 ± 5,18 | 1,71 ± 1,11 | 1,85 ± 1,39 | 1,73 ± 1,97 | 1,99 ± 1,44 |
| ***Équilibre glycémique*** | | | | | | | | |
| **Glycémie**, $mmol.L^{-1}$ | 6,89 ± 2,48 | 6,46 ± 1,90 | 5,79 ± 0,98 | 5,81 ± 0,83 | 6,04 ± 0,88 | 6,54 ± 1,90 | 5,54 ± 0,58 | 5,52 ± 0,82 |
| **Insuline**, $\mu UI.\ mL^{-1}$ | 16,91 ± 13,88 | 11,67 ± 5,80 | 11,73 ± 4,48 | 11,34 ± 6,96 | 9,46 ± 4,60 | 9,34 ± 3,06 | 12,18 ± 5,93 | 9,92 ± 3,52 |
| **HOMA2-IR** | 2,22 ± 1,70 | 1,52 ± 0,74 | 1,55 ± 0,59 | 1,50 ± 0,92 | 1,27 ± 0,63 | 1,27 ± 0,40 | 1,60 ± 0,77 | 1,31 ± 0,44 |
| **HOMA2%S** | 84,8 ± 83,8 | 85,8 ± 53,4 | 73,4 ± 29,3 | 76,3 ± 39,6 | 99,3 ± 48,9 | 90,9 ± 40,6 | 81,7 ± 47,2 | 92,2 ± 52,2 |
| **HOMA2%B** | 101,4 ± 86,2 | 85,1 ± 53,2 | 97,9 ± 32,9 | 107,2 ± 54,5 | 78,7 ± 34,6 | 77,4 ± 25,8 | 104,6 ± 38,9 | 98,0 ± 44,1 |

***Tableau 11.*** *Moyenne ± SD des données variables biologiques obtenues à T0 et T2 dans les 4 groupes.*

| | Contrôle (*n*=2) | | EIMC (*n*=7) | | EII (n=6) | | EII+SA (n=7) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** |
| **CT**, g. $L^{-1}$ | 1,74 ± 0,55 | 1,87 ± 0,59 | 1,79 ± 0,38 | 1,74 ± 0,39 | 1,98 ± 0,25 | 1,96 ± 0,20 | 1,90 ± 0,44 | 2,02 ± 0,49 |
| **Triglycérides**, g. $L^{-1}$ | 1,48 ± 1,46 | 1,16 ± 0,95 | 1,66 ± 1,25 | 1,47 ± 0,78 | 1,20 ± 0,61 | 0,87 ± 0,37 | 1,49 ± 0,65 | 1,38 ± 0,53 |
| **HDL**, g. $L^{-1}$ | 0,35 ± 0,06 | 0,35 ± 0,02 | 0,52 ± 0,16 | 0,50 ± 0,13 | 0,54 ± 0,10 | 0,58 ± 0,11 | 0,51 ± 0,12 | 0,53 ± 0,11 |
| **LDL**, g. $L^{-1}$ | 1,09 ± 0,32 | 1,28 ± 0,42 | 1,02 ± 0,43 | 1,02 ± 0,42 | 1,20 ± 0,20 | 1,20 ± 0,19 | 1,09 ± 0,41 | 1,21 ± 0,47 |
| **CT/HDL** | 5,16 ± 2,41 | 5,34 ± 1,97 | 3,73 ± 1,32 | 3,62 ± 1,06 | 3,79 ± 1,01 | 3,47 ± 0,74 | 3,85 ± 1,22 | 3,93 ± 1,02 |
| **CRP-us,** mg.$L^{-1}$ | 6,90 ± 2,97 | 13,30 ± 7,49 | 4,06 ± 6,50 | 2,06 ± 2,27 | 2,92 ± 3,95 | 2,65 ± 2,53 | 2,67 ± 1,41 | 1,67 ± 0,63 |
| ***Équilibre glycémique*** | | | | | | | | |
| **Glycémie**, mmol.$L^{-1}$ | 4,90 ± 0,42 | 5,10 ± 0,28 | 5,94 ± 1,02 | 5,90 ± 1,25 | 6,42 ± 0,85 | 5,82 ± 0,76 | 5,71 ± 0,82 | 5,69 ± 0,72 |
| **Insuline**, µUI. $mL^{-1}$ | 9,85 ± 8,13 | 9,60 ± 9,90 | 12,70 ± 8,32 | 11,43 ± 4,98 | 9,50 ± 3,40 | 10,88 ± 7,65 | 10,00 ± 3,43 | 12,60 ± 6,95 |
| **HOMA2-IR** | 1,27 ± 1,06 | 1,22 ± 1,31 | 1,68 ± 1,10 | 1,53 ± 0,68 | 1,30 ± 0,43 | 1,46 ± 1,05 | 1,34 ± 0,44 | 1,67 ± 0,90 |
| **HOMA2%S** | 120,1 ± 99,7 | 171,8 ± 177,2 | 67,1 ± 42,7 | 84,1 ± 58,3* | 89,8 ± 44,9 | 96,5 ± 50,2 | 91,2 ± 57,7 | 124,3 ± 168,2 |
| **HOMA2%B** | 108,0 ± 48,4 | 95,3 ± 67,5 | 120,2 ± 64,8 | 91,3 ± 27,0 | 68,9 ± 24,8 | 83,9 ± 27,3 | 89,0 ± 32,3 | 97,8 ± 44,1 |

***Tableau 12.*** *Moyenne ± SD des données variables biologiques obtenues à T2 et T6 dans les 4 groupes.*
** Différence significative dans le groupe EIMC entre pré et post : p<0.05*

| | Contrôle (*n*=0) | | EIMC (*n*=9) | | EII (n=11) | | EII+SA (n=4) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** | **T0** | **T2** |
| *Activité Physique* | | | | | | | | |
| **Pas**, n | DM | DM | 8638 ± 3878 | 7502 ± 3694 | 7996 ± 2806 | 7396 ± 3122 | 8892 ± 2000 | 9416 ± 2747 |
| **DE**, kcal | DM | DM | 2738 ± 553 | 2654 ± 490 | 3004 ± 603 | 3162 ± 1169 | 2781 ± 609 | 2765 ± 488 |
| **DE**, nb de METs | DM | DM | 1,29 ± 0,15 | 1,24 ± 0,19 | 1,34 ± 0,21 | 1,42 ± 0,46 | 1,30 ± 0,18 | 1,30 ± 0,08 |
| **Ac Sédentaires**, min | DM | DM | 1006 ± 149 | 1086 ± 100 | 999 ± 127 | 1036 ± 107 | 1091 ± 92 | 1042 ± 65 |
| **AP Légères**, min | DM | DM | 207 ± 69 | 195 ± 61 | 252 ± 88 | 230 ± 122 | 228 ± 42 | 260 ± 46 |
| **AP Modérées**, min | DM | DM | 96 ± 62 | 91 ± 57 | 97 ± 54 | 68 ± 42 | 90 ± 61 | 70 ± 39 |
| **AP Intenses**, min | DM | DM | 1,0 ± 1,0 | 1,0 ± 1,0 | 2,0 ± 4,0 | DM | 2,5 ± 3,8 | 2,0 ± 4,0 |
| **AP Très Intenses**, min | DM | DM | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 | 0,55 ± 1,81 | 0,73 ± 2,41 | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |
| ***Sommeil*** | | | | | | | | |
| **Durée**, min | DM | DM | 392 ± 103 | 408 ± 78 | 335 ± 50 | 374 ± 68 | 422 ± 66 | 396 ± 25 |
| **Temps allongé**, min | DM | DM | 478 ± 118 | 479 ± 61 | 406 ± 63 | 462 ± 90 | 509 ± 61 | 480 ± 42 |
| **Efficacité Sommeil**, % | DM | DM | 82 ± 9 | 85 ± 9 | 83 ± 9 | 82 ± 8 | 83 ± 6 | 83 ± 6 |

***Tableau 13.*** *Moyenne ± SD des données moyennes journalière d'actimétrie à T0 et T2 dans les 4 groupes.*

| | Contrôle (*n*=0) | | EIMC (*n*=5) | | EII (n=4) | | EII+SA (n=1) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** | **T2** | **T6** |
| *Activité Physique* | | | | | | | | |
| **Pas**, n | DM | DM | 6518 ± 3679 | 7472 ± 3432 | 7528 ± 4794 | 7361 ± 5037 | 12691 ± 0 | 9631 ± 0 |
| **DE**, kcal | DM | DM | 2679 ± 266 | 2751 ± 353 | 2647 ± 394 | 2988 ± 864 | 3320 ± 0 | 3449 ± 0 |
| **DE**, nb de METs | DM | DM | 1,16 ± 0,09 | 1,24 ± 0,19 | 1,68 ± 0,73 | 1,65 ± 0,26 | 1,40 ± 0 | 1,50 ± 0 |
| **Ac Sédentaires**, min | DM | DM | 1117 ± 91 | 1017 ± 226 | 1084 ± 99 | 1066 ± 162 | 1004 ± 0 | 1111 ± 0 |
| **AP Légères**, min | DM | DM | 209 ± 65 | 228 ± 86 | 114 ± 90 | 106 ± 106 | 304 ± 0 | 172 ± 0 |
| **AP Modérées**, min | DM | DM | 73 ± 28 | 81 ± 59 | 62 ± 41 | 110 ± 103 | 118 ± 0 | 194 ± 0 |
| **AP Intenses**, min | DM | DM | 0,1 ± 1,0 | 0,1 ± 1,0 | DM | DM | 0,0 ± 0,0 | 8,0 ± 0,0 |
| **AP Très Intenses**, min | DM | DM | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 | 2,00 ± 4,00 | 0,75 ± 1,50 | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |
| ***Sommeil*** | | | | | | | | |
| **Durée**, min | DM | DM | 455 ± 53 | 468 ± 32 | 417 ± 69 | 433 ± 64 | 416 ± 0 | 432 ± 0 |
| **Temps allongé**, min | DM | DM | 499 ± 57 | 536 ± 46 | 502 ± 128 | 525 ± 111 | 540 ± 0 | 549 ± 0 |
| **Efficacité Sommeil**, % | DM | DM | 91 ± 5 | 87 ± 2 | 85 ± 9 | 83 ± 8 | 77 ± 0 | 79 ± 0 |

***Tableau 14.*** *Moyenne ± SD des données moyennes journalière d'actimétrie à T0 et T2 dans les 4 groupes.*

### 3.2. Variables mesurées au cours des séances d'entraînement

*Fréquence cardiaque*

Les résultats de l'analyse multi-niveaux (Tableau 15) montre un effet simple du Temps (*b*=46,91, *p*<001), mais pas d'effet simple de la Condition (EII*vs*MICE-EII+SA, b=1,49, ns ; EIMC*vs*EII+SA, *b*=2,53, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC, *b*=0,52, ns ; EII*vs*EIMC, *b*=-3,50, ns). Ils révèlent également une interaction significative Temps×Condition pour : EII*vs*MICE-EII+SA, *b*=2,11, *p*<0,05 ; EIMC*vs*EII+SA, *b*=9,84, *p*<0,001 ; EII+SA*vs*EII-EIMC, *b*=3,86, *p*< 0,001 ; EII*vs*EIMC : *b*=-8,09, *p*<0,001, ce qui signifie que la FC augmentent plus au cours du temps dans les conditions EII et de EII+SA que dans la condition EIMC.

*Perception de l'effort*

L'analyse (Tableau 16) montre un effet simple du Temps (*b*= 3,30, *p*<0,001) et de la Condition EII*vs*MICE-EII+SA (*b*=-0,48, *p*<0,05) et EII+SA*vs*EII-EIMC (*b*=0,53, *p*<0,01), signifiant qu'en moyenne il existe des différences entre les conditions. Les résultats montrent également un effet d'interaction Temps×Condition tendanciel de EII*vs*MICE-EII+SA (*b*=2,11, *p*=0,053) et de EII*vs*EIMC (*b*=-0,53, *p*=0,067), mais pas d'effet pour EIMC*vs*EII+SA (*b*=0,08, ns) et EII+SA*vs*EII-EIMC (*b*=-0,12, ns). Cela signifie qu'au cours du temps, le RPE augmente plus dans la condition EII que dans EIMC-EII+SA et que dans EIMC seule, et qu'au cours du temps il n'y a pas de différence d'augmentation du RPE entre EII+SA et EIMC.

*Feeling Scale*

L'analyse montre (Tableau 17) un effet simple du Temps (*b*=-1,24, *p*<0,001), qui veut signifier que la réponse affective diminue au cours du temps. Les résultats révèlent aucun effet de la Condition (EII*vs*MICE-EII+SA : *b*=-0,04, ns ; EIMC*vs*EII+SA : *b*=-0,11, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : *b*=-0,03, ns ; EII*vs*EIMC : *b*=0,12, ns), ni de l'interaction Temps×Condition (EII*vs*MICE-EII+SA : *b*=0,16, ns ; EIMC*vs*EII+SA : *b*=0,23, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : *b*=-0,07, ns ; EII*vs*EIMC : *b*=-0,25, ns).

*Activation-Deactivation Adjective Check List*

Les résultats de l'analyse des 4 dimensions (Energie, Tension, Calme, Fatigue) de l'AD ACL post-exercice ne montrent aucun effet significatif de la Condition (Tableau 18), ni d'interaction Temps×Condition (Tableau 18). Cependant, il existe un effet simple du temps observé pour la dimension Calme post-exercice ($b$=-0,18, $p$<0,001) qui diminue entre la séance 1 et la séance 24, et pour la Tension post-exercice ($b$=0,15, $p$<0,01) qui augmente de la séance 1 à la séance 24. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau 18.

*Motivation*

L'analyse de la Motivation Autonome ne montre aucune évolution au cours du temps ($b$=-0,002, ns). D'autre part, les conditions (EII*vs*MICE-EII+SA : $b$=0,11, ns ; EIMC*vs*EII+SA : $b$=0,24, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : $b$=0,07, ns ; EII*vs*EIMC : $b$=-0,29, ns) ne diffèrent pas entre elles. Enfin, il n'existe pas d'interaction Temps×Condition (EII*vs*MICE-EII+SA : $b$=-0,003, ns ; EIMC*vs*EII+SA : $b$=-0,02, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : $b$=-0,01, ns ; EII*vs*EIMC : $b$=0,01, ns) sur la Motivation Autonome. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau 19.

Aucun effet n'est observé également pour la Motivation Contrainte (Temps : $b$=-0,01, ns ; Condition : EII*vs*MICE-EII+SA : $b$=0,22, ns ; EIMC*vs*EII+SA : $b$=0,04, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : $b$=-0,10, ns ; EII*vs*EIMC : $b$=-0,35, ns; Temps×Condition : EII*vs*MICE-EII+SA : $b$=0,004, ns ; EIMC*vs*EII+SA : $b$=0,005, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : $b$=0,0003, ns ; EII*vs*EIMC : $b$=-0,01, ns). Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau 20.

*Satisfaction du besoin psychologique d'autonomie*

Le sentiment d'autonomie n'évolue pas au cours du Temps ($b$=0,11, ns). L'analyse montre par contre un effet simple de la Condition pour : EII*vs*MICE-EII+SA ($b$=-0,27, $p$<0,01), EIMC*vs*EII+SA ($b$=0,58, $p$<0,01), et EII+SA*vs*EII-EIMC ($b$=0,43, $p$<0,001), ce qui signifie qu'en moyenne le sentiment d'autonomie est similaire entre EIMC et EII mais que dans ces 2 conditions, le niveau de soutien de l'autonomie est inférieur à celui rapporté dans la condition EII+SA. Aucun effet Temps×Condition n'est observé (EII*vs*MICE-EII+SA : $b$= 0,09, ns ; EIMC*vs*EII+SA : $b$=0,02, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : $b$=-0,03, ns ; EII*vs*EIMC : $b$=-0,14, ns). Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau 21.

*Intention de faire de l'AP les semaines suivantes*

L'analyse de l'intention de faire de l'AP ne montre aucune évolution au cours du Temps (*b*=-0,12, ns). De plus, il n'y a pas de différences entre les Conditions : EII*vs*MICE-EII+SA (*b*=-0,02, ns), EIMC*vs*EII+SA (*b*=-0,19, ns), EII+SA*vs*EII-EIMC : *b*=-0,08, ns), et EII*vs*EIMC (b=0,14, ns). Aucune interaction Temps×Condition (EII*vs*MICE-EII+SA : *b*=0,04, ns ; EIMC*vs*EII+SA : *b*=0,01, ns ; EII+SA*vs*EII-EIMC : *b*=-0,01, ns ; EII*vs*EIMC : *b*=-0,06, ns) n'est observé sur les intentions des participants de faire de l'AP les semaines suivantes. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau 22.

## *Tableaux d'analyse des mesures réalisées au cours des séances d'entraînement*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *115.32 (2.41)**** | *92.02 (2.26)**** |
| | *temps* | | *46.91 (1.30)**** |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *1.49 (1.39)* |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *2.53 (2.45)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *0.52 (1.43)* |
| | *EIIvsEIMC* | | *-3.50 (2.39)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *2.11 (0.91)** |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *9.84 (1.60)**** |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *3.87 (0.93)**** |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *-8.09 (1.57)**** |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *392.98 (23.87)**** | *113.74 (6.90)**** |
| | *Level 2* | *141.34 (40.83)**** | *106.39 (28.21)**** |
| | *Level 3* | *2.17 (3.84)* | *3.534 (3.69)**** |
| *Test de significativité* | | | |
| -2logV | | *5141.45* | *4457.72* |
| $\chi^2$ *(df)* | | | *683.73 (5)**** |
| *Effect size* | $d_{EIIvsEIMC-EII+SA}$ | | *0.09* |
| | $d_{EIMvs-EII+SA}$ | | 0.4 |
| | $d_{EII+SAvsEII-EIMC}$ | | 0.18 |
| | $d_{EII+SAvsEII-EIMC}$ | | 0.4 |
| | $d_{EIIvsEIMC}$ | | |

***Tableau 15.*** *Analyse de la fréquence cardiaque.*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *10.15 (0.32)**** | *8,53 (0.32)**** |
| | *temps* | | *3,30 (0.24)**** |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *-,48 (0.19)*** |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *,58 0.33)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *,53 (0.20)*** |
| | *EIIvsEIMC* | | *,44 (0.43)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *,32 (0.17)*$^{0.53}$ |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *,08 (0.29)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *-,12 (0.17)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *-,53 (0.28)*$^{0.67}$ |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *4.83 (0.32)**** | *3.33 (0.22)**** |
| | *Level 2* | *2.04 (0.59)*** | *1.70 (0.48)**** |
| | *Level 3* | *0.09 (0.10)* | *0.09 (0.10)* |
| *Test de significativité* | | | |
| *-2logV* | | *2163.26* | *1993.32* |
| $\chi^2$ *(df)* | | | *169.94 (5)**** |
| *Effect size* | $d_{EIIvsEIMC-EII+SA}$ | | *0.12* |
| | $d_{EIIvsEIMC}$ | | 0.21 |

***Tableau 16.*** *Analyse de la perception de l'effort.*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *2.89 (0.26)* | *3,51 (0.27)**** |
| | *temps* | | *-1,24 (0.14)**** |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *-,043 (0.14)* |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *-,11 (0.25)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *-,03 (0.14)* |
| | *EIIvsEIMC* | | *,12 (0.25)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *,15 (0.10)* |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *,02 (0.17)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *-,06 (0.10)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *-,25 (0.17)* |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *1.50 (0.09)**** | *1.30 (0.08)**** |
| | *Level 2* | *1.14 (0.31)**** | *1.14 (0.31)**** |
| | *Level 3* | *0.09 (0.09)* | *0.10 (0.09)* |
| *Test de significativité* | | | |
| *-2logV* | | *1940.22* | *1865.06* |
| *$\chi^2$ (df)* | | | *75.16 (5)**** |
| *Effect size* | | | - |

***Tableau 17.*** *Analyse de la valence affective.*

| | | *Energie b (SE)* | *Tension b (SE)* | *Calme b (SE)* | *Fatigue b (SE)* |
|---|---|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *2,41 (0,31)**** | *0,63 (0,13)**** | *1,93 (0,21)**** | *1,31 (0,17)**** |
| | *Effet auto-régressif* | *0,30 (0,08)*** | *0,37 (0,06)**** | *0,47 (0,07)**** | *0,19 (0,09)** |
| | *temps* | *-0,02 (0,04)* | *0,15 (0,04)*** | *-0,18 (0,05)*** | *-0,03 (0,04)* |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | *-0,08 (0,08)* | *0,03 (0,04)* | *-0,08 (0,05)* | *-0,01 (0,05)* |
| | *EIMCvsEII+SA* | *0,12 (0,14)* | *0,01 (0,08)* | *0,07 (0,09)* | *0,02 (0,09)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | *0,10 (0,08)* | *-0,01 (0,05)* | *0,07 (0,05)* | *-0,01 (0,08)* |
| | *EIIvsEIMC* | *0,06 (0,13)* | *-0,05 (0,08)* | *0,08 (0,09)* | *-0,01 (0,03)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | *0,02 (0,03)* | *-0,01 (0,03)* | *0,02 (0,06)* | *0,01 (0,03)* |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | *-,022 (0,05)* | *-0,001 (0,04)* | *0,04 (0,07)* | *-0,02 (0,05)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | *-,023 (0,03)* | *0,003 (0,03)* | *0,01 (0,04)* | *-0,003 (0,05)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | *-,025 (0,05)* | *0,01 (0,04)* | *-0,05 (0,06)* | *0,19 (0,09)* |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *0.12 (0.02)**** | *0.08 (0.02)**** | *0.15 (0.02)**** | *0.12 (0.02)**** |
| | *Level 2* | *0.29 (0.09)*** | *0.06 (0.03)** | *0.05 (0.03)* | *0.06 (0.03)** |
| *Test de significativité* | | | | | |
| *Modèle de référence* | | *147.29* | *89.95* | *147.04* | *100.44* |
| *-2logV* | | *134.62* | *68.92* | *113.90* | *95.34* |
| *$\chi^2$ (df)* | | *12 67(6)* | *21.23 (6)*** | *33.14 (6)**** | *5.1 (6)* |
| *Effect size* | | - | - | - | - |

***Tableau 18.*** *Analyse AD ACL.*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *5.79 (0.19)**** | *5.81 (0.20)**** |
| | *temps* | | *-0.002 (0.01)* |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *0.11 (0.12)* |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *0.24 (0.24)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *0.07 (0.12)* |
| | *EIIvsEIMC* | | *-0.29 (0.23)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *-0.003 (0.01)* |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *-0.02 (0.01)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *-0.01 (0.01)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *0.01 (0.01)* |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *0.67 (0.09)**** | *0.65 (0.09)**** |
| | *Level 2* | *0.96 (0.29)*** | *0.95 (0.29)*** |
| *Test de significativité* | | | |
| -2logV | | *358.84* | *355.19* |
| $\chi^2$ *(df)* | | | *3.65 (9)* |
| *Effect size* | | | - |

***Tableau 19.*** *Analyse de la motivation autonome.*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *4.48 (0.22)**** | *4.55 (0.23)**** |
| | *temps* | | *-0.01 (0.01)* |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *0.22 (0.14)* |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *0.04 (0.27)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *-0.09 (0.14)* |
| | *EIIvsEIMC* | | *-0.35 (0.26)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *0.004 (0.01)* |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *0.005 (0.01)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *0.0003 (0.01)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *-0.01 (0.01)* |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *0.81 (0.12)**** | *0.77 (0.11)**** |
| | *Level 2* | *1.27 (0.38)*** | *1.28 (0.39)*** |
| *Test de significativité* | | | |
| -2logV | | *384.66* | *379.03* |
| $\chi^2$ *(df)* | | | *5.63 (9)* |
| *Effect size* | | | - |

***Tableau 20.*** *Analyse de la motivation contrainte.*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *4.89 (0.15)**** | *4.81 (0.13)**** |
| | *temps* | | *0.11 (0.07)* |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *-0.27 (0.09)*** |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *0.58 (0.17)*** |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *0.43 (0.10)**** |
| | *EIIvsEIMC* | | *0.11 (0.16)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *0.09 (0.05)* |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *0.02 (0.08)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *-0.03 (0.05)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *-0.14 (0.08)* |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *0.33 (0.06)**** | *0.30 (0.05)**** |
| | *Level 2* | *0.61 (0.18)*** | *0.32 (0.11)*** |
| *Test de significativité* | | | |
| -2logV | | *223.89* | *200.73* |
| $\chi^2$ *(df)* | | | *23.16 (5)**** |
| *Effect size* | $d_{EIIvsEIMC-EII+SA}$ | | *0.4* |
| | $d_{EIMC-EII+SA}$ | | 0.8 |
| | $d_{EII+SAvsEII-EIMC}$ | | 0.6 |

***Tableau 21.*** *Analyse du besoin d'autonomie.*

| | | *Unconditional model b (SE)* | *Conditional model b (SE)* |
|---|---|---|---|
| *Effets fixes* | *Constante* | *5.06 (0.21)**** | *5.16 (0.24)**** |
| | *temps* | | *-0.12 (0.18)* |
| | *EIIvsEIMC-EII+SA* | | *-0.02 (0.16)* |
| | *EIMCvsEII+SA* | | *-0.19 (0.29)* |
| | *EII+SAvsEII-EIMC* | | *-0.08 (0.17)* |
| | *EIIvsEIMC* | | *0.14 (0.28)* |
| | *temps×EIIvsEIMC-EII+SA* | | *0.04 (0.13)* |
| | *temps×EIMCvsEII+SA* | | *0.01 (0.22)* |
| | *temps×EII+SAvsEII-EIMC* | | *-0.01 (0.13)* |
| | *temps×EIIvsEIMC* | | *-0.06 (0.22)* |
| *Effets aléatoires* | *Level 1* | *1.14 (0.21)**** | *1.11 (0.20)**** |
| | *Level 2* | *1.02 (0.36)*** | *1.03 (0.36)*** |
| *Test de significativité* | | | |
| -2logV | | *317.45* | *315.55* |
| $\chi^2$ *(df)* | | | |
| *Effect size* | | | - |

***Tableau 22.*** *Analyse de l'intention de faire l'AP.*

## 4. Discussion

L'engagement durable dans l'AP constitue un aspect très important dans la prise en charge des personnes atteintes de maladie chroniques, comme l'obésité. Cependant, cette population n'observe pas les recommandations en matière d'AP dans la durée. La compréhension des facteurs responsables d'un engagement durable dans l'AP est cruciale pour pouvoir proposer les programmes adaptés aux besoins des individus en surpoids/obèse. Cette étude de recherche clinique vise à optimiser les modalités d'exercice permettant de traiter la morbidité cardio-vasculaire et métabolique associée à l'obésité, mais surtout à susciter des affects positifs au cours des séances, favorables à la poursuite d'une AP en dehors du laboratoire. Un des aspects innovants de cette étude a été d'adopter une approche physio-pathologique et psychologique (approche bio-psychologique) pour rechercher la modalité d'entraînement créant la situation la plus favorable pour stimuler un engagement durable dans l'AP.

Nous avions fait l'hypothèse que les modalités d'entraînement à l'exercice intermittent intense (EII et EII+SA) induiraient des améliorations de la condition physique ($\dot{V}O_{2pic}$ et PMA), du statut vasculaire et métabolique et de la composition corporelle, supérieures à celles obtenues lors de l'EIMC et dans le groupe contrôle. Aussi, nous avons émis l'hypothèse que l'exercice intense combiné au soutien de l'autonomie (EII+SA) serait plus efficace en termes de maintien de la condition physique de la personne en surpoids/obèses (6 mois après le début de la prise en charge), et que cette modalité d'exercice induirait une réponse affective à l'exercice plus positive, une plus grande motivation autonome, une meilleure satisfaction du besoin d'autonomie et une intention à faire de l'AP plus importante comparé à l'EII et l'EIMC.

### Efficacité physio-pathologique des programmes

Les résultats de cette étude montrent que la condition physique aérobie (PMA et $\dot{V}O_{2pic}$) s'améliore significativement après 24 séances d'entrainement dans les deux groupes d'exercice intense (EII et EII+SA) par rapport au groupe EIMC et C. Ces résultats sont conformes à la littérature [12, 236]. Il montre l'efficacité de ces programmes y compris chez des sujets dont la condition physique de départ n'est pas altérée (Tableau 7). Ce niveau de condition physique peut expliquer aussi pourquoi notre programme est bien supporté

malgré son caractère progressif. En effet, dans une population de diabétiques à priori déconditionnés (données non présentées dans l'article), Little et al. (2011) [237] proposent 6 séances sur 15 jours avec 10 répétitions d'une minute à 100 % de la PMA seulement alors que notre programme propose 24 séances sur 2 mois avec 22 intervalles d'une minute à PMA. Ceci indique une bonne tolérance de notre programme dans la durée. En plus, les effets de l'EII+SA après 2 mois d'entrainement sont légèrement plus prononcés quand exprimés en valeur prédictive (voir $\dot{V}O_2$,%théorique dans le Tableau 7), ce qui peut signifier que les participants sont plus enclins à s'entraîner « dur » lorsque l'on soutient leur autonomie.

La littérature actuelle démontre également un effet positif de l'EIMC sur la fonction cardiorespiratoire [236], contrairement à notre étude. Ce résultat peut être expliqué en partie par une réalisation de l'épreuve d'effort maximale progressive un peu moins aboutie lors de T2 si on se réfère à la diminution d'au moins 2 critères de maximalité tels que la $FC_{max}$ (T0 : 157±17 *vs* T2 : 148±22 batt.min$^{-1}$) et la lactatémie (T0 : 8,25±1,79 *vs* T2 : 7,15±1,56 mmol.L$^{-1}$). Les marqueurs de l'endurance (puissance aux seuils ventilatoires) évoluent de façon similaire dans les deux groupes d'exercice intermittent intense. La puissance au SV2 est significativement plus élevée dans les groupes EII et EII+SA après 2 mois d'entrainement (EII : 135±35 W à T0 *vs* 155±40 W à T2, $p$<0,01 ; EII+SA : 129±18 W à T0 *vs* 146±30W à T2, $p$<0,05). Les résultats similaires sur le SV2 ont été observés après 16 semaines d'EII comparé à l'exercice continu chez les jeunes femmes [238], confirmant la supériorité de l'EII pour améliorer l'endurance.

Au total, notre étude qui présente l'originalité de comparer 2 modalités d'exercice isocaloriques confirme les effets supérieurs de l'EII (22 × 1'/1') sur l'aptitude aérobie chez des patients en surpoids ou obèses présentant une condition physique normale. Cette modalité est par ailleurs bien tolérée d'après les patients qui en ont bénéficié tout au long des 2 mois.

Dans les 4 mois qui suivent la prise en charge (patient en autonomie vis-à-vis de l'AP), les indicateurs de l'aptitude maximale aérobie (PMA et $\dot{V}O_{2pic}$ - valeur absolue, valeur relative au poids ou à la valeur prédictive) diminuent dans tous les groupes d'exercice (group contrôle exclu de l'analyse à cause d'un grand nombre de données manquantes). Ce résultat suggère que malgré les consignes et une prise en charge par l'exercice de 2 mois au

laboratoire, les patients ne semblent pas être en mesure de maintenir une AP avec un niveau de stimulation identique à celui qui leur a été proposé en laboratoire. Ceci est particulièrement mis en évidence par la diminution supérieure de $\dot{V}O_{2pic}$ dans EII et EII+SA par rapport à EIMC et dans EII+SA (en % de la théorique) et plus particulièrement dans le groupe EII+SA puisque cette diminution est significative ou tend à l'être (Tableau 8 et Figure 6).

L'épreuve métabolique permet de quantifier les substrats énergétiques oxydés au cours d'exercice et de définir la puissance d'oxydation lipidique maximale. Les résultats obtenus dans cette étude montrent une augmentation de l'intensité d'exercice pour laquelle l'oxydation des lipides est maximale ($Lipox_{max}$) dans le groupe EIMC après 24 séances d'entrainement, mais aucune modification n'est observée suite à l'EII+SA et l'EII. La littérature confirme, que l'exercice (quelle que soit la modalité : EIMC [239-241] et EII [146, 165, 166]) augmente la capacité à oxyder les lipides. Notamment, Talanian et al, 2007 [166] montrent que seulement 7 séances d'EII améliore la capacité du muscle squelettique à oxyder des lipides. Ainsi, l'absence d'effets positifs de nos 2 programmes d'EII sur l'oxydation lipidique peut surprendre. Cependant, peu d'études mettant en œuvre des programmes EII s'adressent à des personnes en surpoids/obèses. Et si une étude récente montre l'amélioration de la composition corporelle et de l'oxydation lipidique de repos chez des adultes en surpoids suite à un programme EII [242], il n'y a pas de preuves directes de l'augmentation de l'oxydation lipidique au cours de l'exercice. A noter tout de même que l'EII induit une augmentation moyenne de la puissance à $Lipox_{max}$ similaire (+8 W ; $p<0,11$) à celle induite par le programme EIMC (+9 W, $p<0,05$). Ainsi, cette absence peut-être un manque de puissance statistique lié à la faiblesse de nos effectifs (effet β), ou à la nature de notre programme qui diffère notamment en terme d'intensité - en effet un article de synthèse récent dans le domaine de l'EII avance que les effets métaboliques sont d'autant plus importants que le stimulus est intense [243]. Cependant, notre étude confirme l'efficacité de EIMC pour l'oxydation lipidique d'exercice du sujet en surpoids ou obèse avec ou sans syndrome métabolique [220, 244]. Ainsi, l'EII d'entraînement ne semble pas la modalité la plus appropriée pour favoriser l'oxydation lipidique en cours d'exercice. Pour autant, dans l'obésité, l'essentiel est que cette oxydation lipidique soit stimulée quelques soient les conditions (exercice, récupération faisant suite à cet exercice).

L'actimétrie est une méthode objective de mesure de l'AP. Cette mesure était importante pour notre étude. En raison d'un dysfonctionnement de ces actimètres, beaucoup de données sont manquantes. Nous avons cependant fait le choix de présenter les résultats, car ils donnent des renseignements intéressants. Les participants de cette étude ont un niveau de base d'AP d'intensité modérée qui correspond au niveau recommandé (en terme de durée : en moyenne 94±59 minutes) et qui est compatible avec le niveau de condition physique non altérée (voir légèrement supérieure à la normale dans nos différents groupes d'étude (EIMC : 115±19% ; EII : 117±27% ; EII+SA : 120±14%). En revanche, l'importance de la sédentarité (activité qui produit une dépense énergétique inférieure à 1,5 METs) dans la population étudiée est remarquable - près de 1000 minutes (~17 h temps de sommeil compris) sur une période de 24 heures. Il est estimé qu'en moyenne le temps des activités sédentaires (<1,5 METs) d'une personne adulte est égale à 7,7 heures (sans sommeil) [245, 246]. Chez les participants de cette étude la durée de sédentarité dépasse largement cette estimation : ils présentent une sédentarité de 10-11 heures en moyenne (sommeil exclu). En parallèle d'une mauvaise hygiène alimentaire, ce niveau de sédentarité pourrait rendre compte du surpoids/obésité ainsi que du syndrome métabolique présents chez nos sujets d'étude. Aussi, il apparaitrait judicieux d'intervenir sur cette sédentarité pour améliorer l'équilibre pondéral [10].

Après 8 semaines d'entrainement le nombre de pas dans le groupe EIMC diminue et il n'est pas modifié dans les deux groupes EII. Certaines études démontrent l'inefficacité des interventions dont la durée est inférieure à 12 semaines sur le niveau d'AP chez les patients souffrant de bronchopneumopathie chronique obstructive [247]. Selon certains auteurs, l'augmentation de niveau de l'AP de faible intensité est une stratégie potentielle pour lutter contre la sédentarité [248].

L'un des objectifs de cette étude était d'évaluer l'impact des différentes modalités d'exercice sur les indicateurs de santé cardio métabolique. La composition corporelle est une variable importante qui donne des renseignements sur la distribution et la localisation de la masse grasse et de la masse maigre. L'accumulation de la masse grasse abdominale constitue un facteur de risque important de pathologies cardio métaboliques [120]. La quantité de la masse musculaire est également importante – elle permet d'augmenter le métabolisme de base et ainsi influencer la dépense énergétique [124]. Chez les participants

de cette étude nous observons une diminution du tour de hanche (-1,0 % ; p = 0,023) et une augmentation de la masse maigre totale dans EII+SA (+2,0 % ; p=0,017), ainsi qu'une tendance de la masse grasse hépatique à diminuer (-11% ; p=0,098) dans le groupe EII après 8 semaines d'entrainement. Une augmentation de la masse maigre après l'entrainement basé sur l'EII a été également observée dans d'autres études après au moins 12 semaines d'entrainement [157, 242], alors que l'EIMC n'avait aucun effet sur la masse maigre [124, 157]. Il faut noter cependant, que les études citées ci-dessus sont basées sur des protocoles différents : sprints de 8 s à 80-90% de $FC_{max}$ avec une vitesse de pédalage à 120-130 rpm et une récupération active à la même puissance mais avec une cadence de pédalage égale à 40 rpm, durée totale de l'entrainement : 20 minutes) [157, 242]. Les modifications de la masse maigre dans notre étude sont déjà observées après 8 semaines d'entrainement (*vs* 12-15 semaines dans d'autres études [157, 242]) montrant ainsi l'importance de la durée des intervalles intenses. Contrairement aux autres études [12, 154, 242] nous n'avons pas observé de modification au niveau de la masse grasse totale, mais la prise alimentaire que nous n'avons pas contrôlée (bien que les participants avaient pour consignes de ne rien changer) pourrait avoir été augmentée par les participants et avoir impacté nos résultats. Malgré tout, nous confirmons la supériorité des effets de l'EII sur l'EIMC en termes de composition corporelle.

Dans les 4 mois qui suivent la fin du protocole, la masse grasse totale (-2,4%) pour EIMC, la masse grasse thoracique (-8,5%) et viscérale (-9,4%) pour EII et la masse grasse thoracique (-7,5%) pour EII+SA tendent à diminuer. Ces modifications peuvent refléter une prise de conscience suite à la participation au protocole en termes de prise alimentaire, car le niveau d'AP (mesuré par actimétrie) n'est pas modifié.

Contrairement à la littérature [11, 12, 40, 147], nous n'avons observé aucune modification des variables cardio métaboliques (e.g., pression artérielle, réactivité vasculaire, profil lipidique, inflammation, insulino-sensibilité *etc*.). L'explication de cette absence d'effets peut avoir des raisons multiples. La plupart des études qui évaluent l'impact de l'exercice sur la santé cardio-métabolique proposent des protocoles qui durent au moins 12 semaines [153, 249, 250] contre 8 semaines dans notre étude. La durée (3-4 minutes *vs* 1 minute dans notre étude) et l'intensité des intervalles d'exercice (85-90% $FC_{max}$ *vs* $\dot{V}O_{2pic}$ dans notre protocole) [153, 164, 250] constitue un autre paramètre qui

pouvant expliquer nos résultats. Enfin, chez nos sujets d'expérimentation, les variables de base associées au risque cardio-vasculaire et métabolique sont dans les normes suggérant éventuellement un effet plafond. Récemment, Batacan et al. (2017) [11] ont montré que l'EII a peu d'effets sur la santé cardio métabolique chez les sujets sains. Par ailleurs, bon nombre de participants suivent des traitements médicamenteux pour les pathologies cardio-vasculaires et métaboliques (e.g., hypertension, coronaropathie, diabète de type 2, hyperlipidémie). Ainsi, si ces traitements sont optimaux, nous pouvons là encore envisager un effet plafond qui grève les possibilités d'amélioration.

On notera cependant un effet favorable d'EIMC sur la vitesse de l'onde de pouls et donc la rigidité vasculaire. Cet effet est du même ordre de grandeur que pour EII (non significatif) et son sens interroge dans le contexte de notre étude même s'il est tout à fait attendu étant donné qu'il est également observé dans le groupe contrôle.

On peut noter également une évolution ou une tendance du HOMA2%B à augmenter plus dans les groupes EII et EII+SA. Cet effet signe une augmentation de la fonction béta-pancréatique qui pourrait tenir à une amélioration de la sensibilité périphérique [251], elle-même améliorable par une diminution de l'inflammation et une amélioration des défenses anti-oxydantes associées à l'EII. Cependant, nous n'observons pas amélioration significative de la sensibilité à l'insulino-résistance (amélioration non significative dans EII+SA uniquement), ni diminution de la CRPus (marqueur de l'inflammation) et nous n'avons encore pas pu entreprendre les mesures de stress oxydant.

**Effets des programmes sur la FC et les variables psychologiques**

L'analyse de la FC mesurée au cours des séances d'entrainement montre que les deux conditions intermittentes (EII et EII+SA) sont plus exigeantes au niveau physiologique que l'EIMC, car elles suscitent une FC plus élevée. Malgré cette FC plus élevée dans les deux conditions intermittentes, la perception de l'effort ne suit pas le même pattern d'évolution. La perception de l'effort n'est pas différente dans les conditions EII+SA et EIMC. Cependant, elle est supérieure dans la condition EII. Ce résultat est conforme à la littérature. Le fait que RPE dans la condition EIMC soit inférieur à celui rapporté dans la condition EII peut s'expliquer par la règle pic-fin (« peak-end rule ») [187]. Selon cette théorie, chaque expérience provoque une réponse affective dont le niveau maximum (i.e., affect déplaisant)

correspond au pic de l'intensité de l'exercice. Dans la condition EII, l'intensité étant plus élevée, elle affecte plus négativement la perception de l'effort que dans la condition EIMC. De plus, le fait que la perception de l'effort de l'EII+SA soit inférieure à celle de l'EII s'explique par la TAD [205]. Il est très probable que ce soit grâce à un sentiment d'autonomie plus élevé dans la condition EII+SA, par rapport à l'EII, que l'effet du pic d'intensité sur la perception de l'effort ait été atténué.

Dans cette étude nous avons observé une diminution de la valence affective mesurée par la Feeling Scale au cours de toutes les conditions expérimentales, cependant aucune différence n'a été observée entre les trois types d'entraînement. Le fait qu'il n'y ait pas de différence entre les conditions sur la valence affective peut être lié aux caractéristiques des personnes obèses : chaque effort physique provoque une sensation de fatigue, d'inconfort et une dyspnée plus importantes, et génère des sensations physiques et psychologiques déplaisantes [196, 252, 253]. De plus, l'exercice sur ergocycle chez les personnes en surpoids/obèses peut provoquer des abrasions cutanées à l'intérieur des cuisses augmentant ainsi l'inconfort et diminuant toute sensation de plaisir. L'absence d'effet dans la condition EII+SA pourrait s'expliquer par le fait que la modulation de la durée de la récupération par les participants soit un paramètre de soutien de l'autonomie moins puissant/efficace que l'autorégulation de l'intensité de l'exercice. En effet, dans certaines études, dans lesquelles l'intensité d'exercice était autorégulée la réponse affective à l'exercice continu était plus positive [197]. Cependant, aucune étude n'a évalué jusqu'à présent les effets du soutien de l'autonomie dans le cadre de l'EII que ce soit en offrant aux participant la possibilité de moduler la durée de la récupération ou d'autoréguler l'intensité de l'exercice.

L'analyse de la réponse affective post-exercice (i.e., mesurée par l'AD ACL) ne montre aucune différence entre les conditions. Cette absence de différence entre les conditions est conforme à la littérature qui révèle qu'après l'arrêt de l'exercice, le niveau de plaisir revient à son niveau initial quel que soit le type d'exercice pratiqué [16, 195].

Le résultat sur le sentiment d'autonomie (en moyenne plus élevé dans le groupe EII+SA par rapport à EII et EIMC) est particulièrement intéressant. Il montre que le fait de laisser au participant le choix (ici de moduler son temps de récupération entre 2 séries), produit un effet positif sur le sentiment d'autonomie et sur la perception de l'effort, et ce

indépendamment de l'effort réel mesuré objectivement par la FC. Le fait qu'il n'y ait pas d'effet significatif de l'interaction temps×condition, signifie que l'effet de la condition expérimentale sur l'autonomie perçue s'est produit dès la première séance du programme.

Le fait qu'il n'y ait pas de différence entre les conditions en ce qui concerne la motivation et l'intention de pratiquer une AP est probablement dû au fait qu'il n'y a pas d'effet sur la valence affective. En effet, selon Rhodes et Kates (2015) [172], c'est la réponse affective au cours de l'exercice qui influence la motivation et l'intention de pratiquer ultérieurement une AP. Il semble en outre que le sentiment d'autonomie accru dans la condition EII+SA, n'ait pas non plus été suffisant pour avoir un impact sur la quantité (i.e., intention) et la qualité de la motivation (i.e., motivation autonome) une fois la prise en charge terminée. Cette étude montre néanmoins l'importance de mettre en place les conditions d'un soutien de l'autonomie de la personne en surpoids/obèse au cours de son programme de réentrainement. En effet, les résultats de cette étude révèlent un effet plus positif de la condition d'entrainement avec soutien de l'autonomie sur la condition physique et sur la perception de l'effort au cours de l'exercice, comparée aux deux autres conditions expérimentales.

Cette étude n'est pas exempte de limites. L'étude n'étant pas terminée, les résultats présentés ici sont intermédiaires et ne portent que sur un nombre réduit de participants. De plus, en raison de difficultés techniques avec les actimètres, nous avons eu beaucoup de données manquantes concernant l'AP pendant les 4 mois post-programme. Il se peut donc que ces résultats présentent une réalité tronquée.

**Conclusion**

Cette étude réalisée chez les personnes en situation de surpoids ou obèses, a permis de montrer l'effet positif de l'exercice intermittent intense sur la condition physique et sur la composition corporelle des participants. Si cette modalité d'exercice est combinée avec un soutien de l'autonomie, un effet plus positif sur la réponse affective à l'exercice (RPE) et l'autonomie perçue est observé malgré une charge physiologique plus importante que celle induite par l'EIMC. L'EII+SA pourrait être une stratégie plus efficace, et donc une alternative prometteuse à l'EIMC pour les personnes en surpoids/obèses. Cependant, son impact sur l'adhésion à l'AP sur le long terme reste à améliorer. Poursuivre l'accompagnement du

patient, au-delà des deux mois de prise en charge, sous la forme, par exemple, d'entretiens motivationnels réguliers, pourrait favoriser la pratique d'un AP en dehors du laboratoire.

# TROISIÈME PARTIE
# SYNTHÈSE, PERSPECTIVES
# & CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail doctoral a consisté à investiguer la question de l'optimisation des réponses physiologique et affective à l'exercice afin de favoriser l'engagement durable dans l'AP des personnes âgées et en surpoids/obèses. Ces deux populations spécifiques ont été choisies parce que leur niveau d'adhésion à l'AP est particulièrement faible en dépit du fait que les bénéfices de l'AP régulière pour la prévention et le traitement des problèmes de santé liés au vieillissement ou à l'obésité, soient unanimement reconnus.

**Optimisation de la réponse physiologique à l'exercice**

En raison de son efficacité sur la santé cardio-métabolique, l'exercice intermittent intense (EII) a suscité un regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique. Ses effets bénéfiques sur la santé sont comparables voire supérieurs à ceux de l'exercice d'intensité modérée continu (EIMC), classiquement recommandé pour une durée effective d'exercice plus faible. L'intensité maximale voire supra maximale imposée par ce type d'exercice est supportable grâce aux périodes de récupération entre les intervalles. De fait, cette modalité d'exercice peut constituer une alternative intéressante à l'EIMC dans la lutte contre des problèmes associés à l'inactivité physique et à la sédentarité à condition qu'il soit supporté par des populations de malades qui présentent une faible condition physique. Cette perspective est très largement envisageable dans la mesure où il existe une infinité de combinaisons de phases d'exercice intense et de récupération. Encore faut-il trouver la modalité la plus adaptée et la plus efficace, sur la durée, pour une population donnée. Dans ce cadre, nous avons poursuivi deux objectifs : le premier a consisté en la proposition d'une modalité d'exercice originale (combinaison EII et EIMC) pour optimiser l'oxydation lipidique, le deuxième a consisté en l'étude de l'impact sur la santé de patients en surpoids/obèse d'un programme EII comparativement à un programme isocalorique classique (EIMC).

La sédentarité et l'inactivité sont associées à une augmentation du risque de développement de certaines maladies cardio-métaboliques chroniques non transmissibles (e.g., maladie cardiovasculaire, obésité, diabète de type 2, hypertension, cancer du côlon et du sein) [2, 3]. L'oxydation des lipides est un facteur important dans la prévention et le traitement des maladies cardio-métaboliques [220]. Certaines modalités d'entrainement peuvent augmenter l'utilisation des lipides. L'EIMC est le plus souvent recommandé pour la

perte de poids et la diminution de la masse grasse [254]. Cependant, les programmes basés sur ce type d'exercice montrent une efficacité limitée [255]. L'EII émerge comme une alternative efficace sur la modification de la composition corporelle [11]. Afin d'optimiser l'oxydation des lipides, nous avons évalué l'influence de l'exercice aigu combiné (combinant EII et EIMC) comparé à l'EIMC prolongé sur l'utilisation des substrats énergétiques. Ce travail préliminaire a permis de montrer que l'utilisation des lipides peut être augmentée durant l'exercice continu modéré quand il est précédé par une courte (donc envisageable y compris pour les populations en mauvaise condition physique) session d'exercice intermittent intense. Les principaux résultats de cette étude nous ont permis de démontrer l'intérêt de combiner différentes modalités d'exercice, ce qui renforce l'idée qu'il n'existe pas de modalité d'exercice efficace univoque.

A part ses effets sur la composition corporelle, l'EII est efficace sur certains facteurs de risque de maladies cardio-métaboliques (e.g., pression artérielle systolique et diastolique [153, 154], fonction endothéliale [12, 155], résistance à l'insuline [12]). En vue d'apprécier ses bénéfices pour la santé de sujets en surpoids/obèses par rapport à une modalité traditionnelle isocalorique (un des points forts de notre étude non systématique dans les nombreuses études réalisées sur ce thème), nous avons comparé les effets de l'EII *vs* EIMC sur la condition physique et la santé cardio-métabolique – *étude HYPINT*. Une des originalités de notre étude est d'avoir doublé le temps d'exercice par rapport à la littérature (22 intervalles d'une minute à PMA entrecoupées d'une minute de récupération pour nos sujets en surpoids/obèse versus 10 intervalles d'une minute entrecoupées d'une minute de récupération dans le diabète de type 2 [237]). Nous avons aussi testé la faisabilité de ce type de programme dans la durée puisque le nombre de séances a été multiplié par 4 par rapport aux programmes proposés dans la littérature sur le diabète de type 2 [237]. Enfin, nous avons essayé de vérifier l'engagement spontané des patients au cours des 4 mois qui ont suivi le programme d'exercice au CHU. Dans cette partie de la thèse nous avons travaillé également sur l'optimisation de la réponse affective à l'exercice qui est présentée ci-après (« *Optimisation de la réponse affective à l'exercice* »). Les résultats de ce travail de recherche clinique HYPINT, actuellement en cours au CHU de Grenoble, montrent une bonne tolérance du programme proposé, une amélioration de la condition physique (normale avant le programme) après 8 semaines dans les deux groupes dont l'entrainement était basé sur

l'EII par rapport aux groupes EIMC et contrôle, confirmant ainsi les résultats de nombreuses études antérieures [12, 236]. Nous avons observé également des effets positifs de l'EII sur la composition corporelle (diminution du tour de hanche ; augmentation de la masse maigre totale ; ainsi qu'une tendance de la masse grasse hépatique à diminuer) qui globalement sont conformes à la littérature [11]. Nous n'avons pas pu montrer d'effets sur la santé cardio-métabolique chez nos sujets, contrairement aux données de la littérature actuelle qui indiquent des effets bénéfiques de l'EII [11]. Cette absence de modification des variables de santé peut être expliquée par le fait que la plupart des variables étaient normales (grâce éventuellement à l'effet des traitements) au début de l'étude, ainsi que par une durée de programme peut-être trop courte (8 semaines *vs* au moins 12 semaines dans les études où les modifications ont été observées [11, 12]). Enfin, malgré le nombre limité de données d'actimétrie, il semble que cette modalité d'exercice ne soit pas maintenue par les participants lorsqu'ils sont en autonomie.

**Optimisation de la réponse affective à l'exercice**

Conformément au principe hédoniste [17] – selon lequel le plaisir ressenti pendant une activité favorise la poursuite de celle-ci, alors que le déplaisir ressenti génère un comportement d'évitement vis-à-vis de cette activité – la réponse affective à l'exercice est l'un des facteurs qui détermine l'adhésion à court et à long termes à l'AP [172]. La nature de la réponse affective dépend directement de l'intensité de l'effort [16, 184] ainsi que du moment de la séance au cours duquel se produit le pic d'intensité [188]. De plus, la satisfaction du besoin psychologique d'autonomie (introduit dans la littérature sous la forme de l'autorégulation de l'intensité d'exercice) favorise également une réponse affective positive [197, 210, 256]. Une part importante de ce travail doctoral a consisté alors à évaluer la réponse affective de la personne âgée (*Publication 2*) et des sujets en surpoids/obèses (*Publication 3*) à différentes modalités d'exercice aigu. Dans la *Publication 2* nous avons comparé les effets de trois séances d'exercices aiguës dont l'intensité était imposée mais variait selon le moment de la séance (i.e., pic d'intensité au début, au milieu et à la fin), à une séance dont l'intensité d'exercice était autorégulée par le participant sur la réponse affective à l'exercice de la personne âgée. A notre connaissance, une telle étude n'a jamais été menée chez la personne âgée. Il s'agit d'une étude de terrain réalisée en milieu

associatif, permettant d'évaluer la réponse affective dans des conditions écologiques. Les résultats de cette étude montrent que l'évolution de l'intensité au cours d'une séance peut modifier la réponse affective à l'exercice, conformément à la littérature actuelle chez les sujets adultes [188]. Plus précisément, la modalité d'exercice qui produit la réponse affective la plus négative est celle au cours de laquelle l'intensité croit tout au long de la séance pour atteindre son pic d'intensité à la fin. La réponse affective est la plus positive lorsque le participant peut réguler lui-même l'intensité ou lorsque le pic d'intensité survient au début ou au milieu de la séance. Cette étude révèle l'intérêt de programmer les séances d'AP en prenant en compte la structure de la séance (notamment le moment du pic d'intensité) afin d'optimiser la réponse affective à l'exercice des personnes âgées.

Par la suite, ce travail doctoral nous a conduit à examiner la réponse affective à trois modalités d'exercice différentes : exercice d'intensité modérée continu (EIMC), exercice intermittent intense sans (EII) et avec soutien de l'autonomie (EII+SA) chez des personnes en surpoids/obèses et chez des sujets sains (*Publication 3*). Les résultats de cette étude montrent une évolution différente de la réponse affective à l'exercice chez les sujets sains et chez les personnes en surpoids/obèses. Dans ce qu'ils ont d'essentiels, les résultats révèlent que la réponse affective aux deux conditions intermittentes (EII et EII+SA) n'est pas plus négative que celle obtenue lors de l'EIMC chez les personnes en surpoids/obèses. Nos résultats sont différents de ceux de Decker et al. (2017) [201], où l'EII était associé à une réponse affective plus négative que celle associée à l'EIMC. Cette différence entre ces deux études peut s'expliquer par des différences de protocole concernant l'EII (durée et l'intensité des intervalles intenses ainsi que le type de récupération). Suite à cette étude nous pouvons conclure que l'EII combiné à l'autorégulation de l'intensité de l'exercice sont les deux modalités susceptibles de favoriser une réponse plus positive à l'exercice chez les sujets sains. Cette étude met en évidence également que l'EII+SA constitue une alternative prometteuse à l'EIMC chez les sujets en surpoids/obèses car la réponse affective associée à l'EII n'est pas plus négative que celle associée à l'EIMC.

Enfin, après avoir montré l'importance de la modalité d'exercice et du soutien de l'autonomie au cours de l'exercice aigu, nous avons examiné les effets de ces deux paramètres à plus long terme. Nous nous sommes intéressés aux effets d'un programme de réentrainement de deux mois basé sur l'EII et l'EII+SA *vs* l'EIMC sur la réponse affective à

l'exercice et la motivation envers l'AP chez les personnes en surpoids/obèses. Cette étude fut la première à s'intéresser à la réponse affective et motivationnelle suite à un programme de réentrainement chez les individus en surpoids/obèses. En plus des bénéfices physiologiques observés dans cette étude (voir ci-dessus dans la partie « *Optimiser la réponse physiologiques à l'exercice* »), les résultats montrent que le fait de laisser au participant la possibilité de moduler la durée de la récupération entre chaque intervalle, produit un effet positif sur le sentiment d'autonomie et sur la perception de l'effort, et ce indépendamment de l'effort fourni mesuré objectivement. Cet effet pourrait d'ailleurs expliquer les progrès plus importants obtenus sur la condition physique ($\dot{V}O_{2pic}$ en % de la prédite) des participants avec cette modalité d'exercice. L'absence d'effet de l'entrainement sur l'intention et la motivation des participants peut s'expliquer par l'absence d'effet sur la valence affective, dont l'influence sur l'intention et la motivation a été rapportée dans une récente méta-analyse [172]. Chez les personnes obèses, l'exercice est souvent associé au sentiment de déplaisir [196] et les résultats de cette étude le confirment. Cependant, le soutien de l'autonomie a des effets positifs sur la perception de l'effort au cours de l'exercice intermittent intense ce qui ouvre des nouvelles pistes de recherche intéressantes. Néanmoins, malgré ces quelques effets psychologiques positifs induits par le soutien de l'autonomie, notre intervention, quelles que soient ses modalités, n'a pas permis d'augmenter la participation à l'AP post-programme de nos sujets.

**Perspectives**

Etant donné le niveau d'AP insuffisant chez les personnes âgées et en surpoids/obèses, des interventions visant à augmenter le niveau d'AP sont nécessaires. Quelques perspectives intéressantes émergent de ce travail doctoral :

1. Les résultats de l'étude portant sur l'exercice combiné (*Publication 1*) montrent une augmentation de l'oxydation lipidique au cours de 35 minutes d'EIMC précédé par une session d'EII comparativement au 35 dernières minutes d'EIMC prolongé bien que la quantité totale de lipides oxydés ne diffère pas entre les 2 modalités d'exercice. Cela suggère que l'augmentation de la durée de l'EIMC suite à l'EII peut conduire à une oxydation lipidique encore plus importante. Une perspective intéressante serait alors d'évaluer l'utilisation lipidique au cours de l'exercice

combiné avec une partie d'EIMC plus longue (e.g., 45 à 60-min). Nous pouvons également envisager d'augmenter le nombre d'intervalles d'EII avant l'EIMC. De plus, l'évaluation de la dépense énergétique post-exercice semble être un aspect intéressant. Certaines études montrent que l'EII suscitent la même dépense énergétique en 24 h comparé à l'EIMC malgré une durée de l'exercice plus faible [257]. A notre connaissance ce type d'étude n'a pas encore été réalisé suite à l'exercice combiné et cette question reste à explorer.

2. Actuellement les études portant sur la réponse affective à l'exercice chez la personne âgée sont rares. Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse est un des premiers à s'intéresser à la réponse affective consécutive à différentes modalités d'exercice chez la personne âgée. Il montre que la réalisation d'exercices intenses ne produit pas forcément un effet délétère sur la réponse affective. Compte tenu de l'impact important de la réponse affective à l'exercice sur l'engagement durable à l'AP [172], il parait essentiel de poursuivre cette ligne de recherche en examinant notamment les effets à plus long terme. Approfondir les connaissances dans ce domaine est essentiel pour améliorer les programmes d'entrainement et la prise en charge par l'exercice des individus âgés, qui constitue un secteur actuellement en plein développement dans le domaine de l'activité physique adaptée.
3. Plusieurs parties de cette thèse montrent l'intérêt de mettre en place les conditions d'un soutien de l'autonomie de la personne âgée et de la personne en surpoids/obèse au cours de leur programme de réentrainement. En effet, les conditions qui ont intégré l'autorégulation de l'intensité de l'exercice ou la modulation de la durée de phase de récupération ont été associés à des bénéfices psychologiques (e.g., perception de l'effort moindre) et physiologiques (e.g., amélioration de la condition physique et de la composition corporelle) plus importants que les autres conditions expérimentales auxquelles elles ont été comparées. Ces informations sont importantes pour les professionnels impliqués dans la prise en charge par l'exercice afin d'optimiser les effets et de favoriser l'engagement durable à l'AP.
4. Si les résultats partiels de l'étude HPINT montrent un effet plus positif de l'entrainement avec soutien de l'autonomie sur la condition physique et sur la

perception de l'effort au cours de l'exercice, une fois la prise en charge terminée, les sujets en surpoids/obèses ne pratiquent néanmoins pas plus d'AP que ceux des autres conditions expérimentales. Parmi les explications possibles de ce résultat, nous avons envisagé le besoin d'un meilleur accompagnement et de plus de soutien afin d'aider les personnes en surpoids/obèses à poursuivre la pratique d'une AP en autonomie. En effet, dans HYPINT la prise en charge du patient s'arrête complétement, et peut-être un peu brutalement, au bout des deux mois d'entrainement, à la fin de la 24ème séance. Seuls quelques conseils leur sont prodigués pour poursuivre l'AP en autonomie. Une perspective intéressante dans le futur serait de comparer les effets de HYPINT à ceux d'un programme d'entrainement équivalent mais suivi d'un accompagnement à distance, sur l'AP des patients au cours des 4 mois post-programme.

**Conclusion**

Les travaux présentés dans ce manuscrit mettent en évidence l'importance de prendre en compte à la fois le type d'exercice et la structure de l'exercice pour optimiser la réponse physiologique et la réponse affective à l'exercice. Plusieurs facteurs se sont révélés être efficaces à cet égard, notamment l'EII, l'autorégulation de l'intensité de l'exercice, la modulation de la durée de la récupération, et la pente de l'intensité de l'exercice au cours de la séance. Mais, c'est lorsque ces facteurs sont combinés que leur efficacité semble maximum.

Les résultats de cette thèse ouvrent des pistes de recherche dans le domaine de la réponse physiologique et affective à l'exercice chez la personne âgée et chez les sujets en surpoids/obèses. Ils offrent également des perspectives pratiques aux professionnels désireux d'améliorer la prise en charge par l'exercice de ces populations.

# Références


1. WHO, Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. 2009: World Health Organization.
2. WHO, Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé. 2010.
3. Anses, Actualisation des repères du PNNS: Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité. 2016.
4. Pedersen, B.K. and B. Saltin, Exercise as medicine–evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2015. 25(S3): p. 1-72.
5. Committee, P.A.G.A., Physical activity guidelines advisory committee report, 2008. Washington, DC: US Department of Health and Human Services, 2008. 2008: p. A1-H14.
6. Nelson, M.E., et al., Physical activity and public health in older adults. Recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Circulation, 2007.
7. Escalon, H., et al., Baromètre santé nutrition 2008. INPES, Saint-Denis, 2009.
8. Tucker, J.M., G.J. Welk, and N.K. Beyler, Physical activity in US adults: compliance with the physical activity guidelines for Americans. American journal of preventive medicine, 2011. 40(4): p. 454-461.
9. Tudor-Locke, C., et al., Accelerometer profiles of physical activity and inactivity in normal weight, overweight, and obese US men and women. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2010. 7(1): p. 60.
10. Sallis, J.F., et al., Role of built environments in physical activity, obesity, and cardiovascular disease. Circulation, 2012. 125(5): p. 729-737.
11. Batacan, R.B., et al., Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. Br J Sports Med, 2017. 51(6): p. 494-503.
12. Ramos, J.S., et al., The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. Sports Med, 2015. 45(5): p. 679-92.
13. Biddle, S.J., et al., Theoretical frameworks in exercise psychology. Handbook of sport psychology, 2007. 3: p. 537-559.
14. Ryan, R.M. and E.L. Deci, Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness. 2017: Guilford Publications.
15. Rhodes, R.E. and L.A. Pfaeffli, Mediators of physical activity behaviour change among adult non-clinical populations: a review update. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2010. 7(1): p. 37.
16. Ekkekakis, P., Pleasure and displeasure from the body: Perspectives from exercise. Cognition & Emotion, 2003. 17(2): p. 213-239.
17. Kahneman, D., Objective happiness, in Well-being: The foundations of hedonic psychology, D. Kahneman, E. Diener, and N. Schwarz, Editors. 1999, Russell Sage Foundation: New York (NY). p. 3-25.
18. Erikssen, G., Physical fitness and changes in mortality. Sports medicine, 2001. 31(8): p. 571-576.

19. Wang, H., et al., Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. The Lancet, 2016. 388(10053): p. 1459-1544.
20. Nocon, M., et al., Association of physical activity with all-cause and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation, 2008. 15(3): p. 239-246.
21. Woodcock, J., et al., Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis of cohort studies. International Journal of Epidemiology, 2010. 40(1): p. 121-138.
22. Wannamethee, S.G., A.G. Shaper, and M. Walker, Changes in physical activity, mortality, and incidence of coronary heart disease in older men. The Lancet, 1998. 351(9116): p. 1603-1608.
23. Kokubo, Y., Traditional risk factor management for stroke: a never-ending challenge for health behaviors of diet and physical activity. Current opinion in neurology, 2012. 25(1): p. 11-17.
24. INSERM, Activité physique: contextes et effets sur la santé. Expertise collective. 2008, INSERM: Paris.
25. Manson, J.E., et al., Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. New England Journal of Medicine, 2002. 347(10): p. 716-725.
26. Sundquist, K., et al., The long-term effect of physical activity on incidence of coronary heart disease: a 12-year follow-up study. Preventive medicine, 2005. 41(1): p. 219-225.
27. Lavie, C.J., et al. Exercise training and cardiac rehabilitation in primary and secondary prevention of coronary heart disease. in Mayo Clinic Proceedings. 2009. Elsevier.
28. Lee, I.-M., et al., Physical activity and coronary heart disease in women: Is no pain, no gain passé? Jama, 2001. 285(11): p. 1447-1454.
29. Li, J. and J. Siegrist, Physical activity and risk of cardiovascular disease—a meta-analysis of prospective cohort studies. International journal of environmental research and public health, 2012. 9(2): p. 391-407.
30. Ainsworth, B.E., et al., Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. Medicine and science in sports and exercise, 2000. 32(9; SUPP/1): p. S498-S504.
31. Mora, S., et al., Physical activity and reduced risk of cardiovascular events. Circulation, 2007. 116(19): p. 2110-2118.
32. Green, D.J., et al., Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. The Journal of physiology, 2004. 561(1): p. 1-25.
33. Thijssen, D., et al., Physical (in) activity and endothelium-derived constricting factors: overlooked adaptations. The Journal of physiology, 2008. 586(2): p. 319-324.
34. Bonetti, P.O., L.O. Lerman, and A. Lerman, Endothelial dysfunction. Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology, 2003. 23(2): p. 168-175.
35. Vita, J.A., et al., Coronary vasomotor response to acetylcholine relates to risk factors for coronary artery disease. Circulation, 1990. 81(2): p. 491-497.

36. Celermajer, D.S., et al., Endothelium-dependent dilation in the systemic arteries of asymptomatic subjects relates to coronary risk factors and their interaction. Journal of the American College of Cardiology, 1994. 24(6): p. 1468-1474.
37. Lerman, A. and J. Burnett Jr, Intact and altered endothelium in regulation of vasomotion. Circulation, 1992. 86(6 Suppl): p. III12-19.
38. Anderson, T.J., Assessment and treatment of endothelial dysfunction in humans. Journal of the American College of Cardiology, 1999. 34(3): p. 631-638.
39. Lorenz, M.W., et al., Prediction of clinical cardiovascular events with carotid intima-media thickness. Circulation, 2007. 115(4): p. 459-467.
40. Gibala, M.J., et al., Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol, 2012. 590(5): p. 1077-84.
41. Juonala, M., et al., Life-time risk factors and progression of carotid atherosclerosis in young adults: the Cardiovascular Risk in Young Finns study. European heart journal, 2010. 31(14): p. 1745-1751.
42. Higashi, Y. and M. Yoshizumi, Exercise and endothelial function: role of endothelium-derived nitric oxide and oxidative stress in healthy subjects and hypertensive patients. Pharmacology & therapeutics, 2004. 102(1): p. 87-96.
43. Shirwany, N.A. and M.-h. Zou, Arterial stiffness: a brief review. Acta Pharmacologica Sinica, 2010. 31(10): p. 1267-1276.
44. Cavalcante, J.L., et al., Aortic stiffness: current understanding and future directions. Journal of the American College of Cardiology, 2011. 57(14): p. 1511-1522.
45. Sakuragi, S. and W.P. Abhayaratna, Arterial stiffness: methods of measurement, physiologic determinants and prediction of cardiovascular outcomes. International journal of cardiology, 2010. 138(2): p. 112-118.
46. Vlachopoulos, C., K. Aznaouridis, and C. Stefanadis, Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. Journal of the American College of Cardiology, 2010. 55(13): p. 1318-1327.
47. Tanaka, H., C.A. DeSouza, and D.R. Seals, Absence of age-related increase in central arterial stiffness in physically active women. Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology, 1998. 18(1): p. 127-132.
48. Tanaka, H., et al., Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. Circulation, 2000. 102(11): p. 1270-1275.
49. van de Laar, R.J., et al., Lifetime Vigorous But Not Light-To-Moderate Habitual Physical Activity Impacts Favorably on Carotid Stiffness in Young Adults. Hypertension, 2010. 55(1): p. 33-39.
50. Schmitz, K.H., et al., Arterial distensibility and physical activity in the ARIC study. Medicine and science in sports and exercise, 2001. 33(12): p. 2065-2071.
51. Tordi, N., et al., Intermittent versus constant aerobic exercise: effects on arterial stiffness. European journal of applied physiology, 2010. 108(4): p. 801-809.
52. Edwards, D.G., et al., Effect of exercise training on central aortic pressure wave reflection in coronary artery disease. American journal of hypertension, 2004. 17(6): p. 540-543.
53. Seals, D.R., et al., Blood pressure reductions with exercise and sodium restriction in postmenopausal women with elevated systolic pressure: role of arterial stiffness. Journal of the American College of Cardiology, 2001. 38(2): p. 506-513.

54. Guimaraes, G.V., et al., Effects of continuous vs. interval exercise training on blood pressure and arterial stiffness in treated hypertension. Hypertension Research, 2010. 33(6): p. 627-632.
55. Ferrier, K.E., et al., Aerobic exercise training does not modify large-artery compliance in isolated systolic hypertension. Hypertension, 2001. 38(2): p. 222-226.
56. Lawes, C.M., et al., High blood pressure. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. Geneva: World Health Organization, 2004: p. 281-390.
57. Godet-Thobie, H., et al., Niveau tensionnel moyen et prévalence de l'hypertension artérielle chez les adultes de 18 à 74 ans, ENNS 2006-2007. Bull Epidemiol Hebd, 2008. 49: p. 478-483.
58. Warburton, D.E., et al., Evidence-informed physical activity guidelines for Canadian adults This article is part of a supplement entitled Advancing physical activity measurement and guidelines in Canada: a scientific review and evidence-based foundation for the future of Canadian physical activity guidelines co-published by Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism and the Canadian Journal of Public Health. It may be cited as Appl. Physiol. Nutr. Metab. 32 (Suppl. 2E) or as Can. J. Public Health 98 (Suppl. 2). Applied physiology, nutrition, and metabolism, 2007. 32(S2E): p. S16-S68.
59. Warburton, D.E., et al., A systematic review of the evidence for Canada's Physical Activity Guidelines for Adults. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2010. 7(1): p. 39.
60. Katzmarzyk, P.T. and I. Janssen, The economic costs associated with physical inactivity and obesity in Canada: an update. Canadian journal of applied physiology, 2004. 29(1): p. 90-115.
61. Whelton, S.P., et al., Effect of aerobic exercise on blood pressurea meta-analysis of randomized, controlled trials. Annals of internal medicine, 2002. 136(7): p. 493-503.
62. Cornelissen, V.A. and R.H. Fagard, Effect of resistance training on resting blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials. 2005, LWW.
63. Stamler, J., et al., INTERSALT study findings. Public health and medical care implications. Hypertension, 1989. 14(5): p. 570-577.
64. Leung, F.P., et al., Exercise, vascular wall and cardiovascular diseases. Sports Medicine, 2008. 38(12): p. 1009-1024.
65. Dandona, P., A. Aljada, and A. Bandyopadhyay, Inflammation: the link between insulin resistance, obesity and diabetes. Trends in immunology, 2004. 25(1): p. 4-7.
66. Lumeng, C.N. and A.R. Saltiel, Inflammatory links between obesity and metabolic disease. The Journal of clinical investigation, 2011. 121(6): p. 2111.
67. Dandona, P., et al., Endothelial dysfunction, inflammation and diabetes. Reviews in endocrine & metabolic disorders, 2004. 5(3): p. 189-197.
68. Khansari, N., Y. Shakiba, and M. Mahmoudi, Chronic inflammation and oxidative stress as a major cause of age-related diseases and cancer. Recent patents on inflammation & allergy drug discovery, 2009. 3(1): p. 73-80.
69. Rost, N.S., et al., Plasma concentration of C-reactive protein and risk of ischemic stroke and transient ischemic attack. Stroke, 2001. 32(11): p. 2575-2579.

70. Pradhan, A.D., et al., Inflammatory biomarkers, hormone replacement therapy, and incident coronary heart disease: prospective analysis from the Women's Health Initiative observational study. Jama, 2002. 288(8): p. 980-987.
71. Pai, J.K., et al., Inflammatory markers and the risk of coronary heart disease in men and women. New England Journal of Medicine, 2004. 351(25): p. 2599-2610.
72. Ridker, P.M., High-sensitivity C-reactive protein, inflammation, and cardiovascular risk: from concept to clinical practice to clinical benefit. American heart journal, 2004. 148(1): p. S19-S26.
73. Strandberg, T.E. and R.S. Tilvis, C-reactive protein, cardiovascular risk factors, and mortality in a prospective study in the elderly. Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology, 2000. 20(4): p. 1057-1060.
74. Wannamethee, S.G., et al., Physical activity and hemostatic and inflammatory variables in elderly men. Circulation, 2002. 105(15): p. 1785-1790.
75. Church, T.S., et al., Associations between cardiorespiratory fitness and C-reactive protein in men. Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology, 2002. 22(11): p. 1869-1876.
76. Kasapis, C. and P.D. Thompson, The effects of physical activity on serum C-reactive protein and inflammatory markers: a systematic review. Journal of the American College of Cardiology, 2005. 45(10): p. 1563-1569.
77. Tisi, P., et al., Exercise training for intermittent claudication: does it adversely affect biochemical markers of the exercise-induced inflammatory response? European Journal of Vascular and Endovascular Surgery, 1997. 14(5): p. 344-350.
78. Adamopoulos, S., et al., Physical training reduces peripheral markers of inflammation in patients with chronic heart failure. European heart journal, 2001. 22(9): p. 791-797.
79. Campbell, R.K., Type 2 diabetes: where we are today: an overview of disease burden, current treatments, and treatment strategies. Journal of the American Pharmacists Association: JAPhA, 2008. 49: p. S3-9.
80. Jeon, C.Y., et al., Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes. Diabetes care, 2007. 30(3): p. 744-752.
81. Sui, X., et al., A prospective study of cardiorespiratory fitness and risk of type 2 diabetes in women. Diabetes care, 2008. 31(3): p. 550-555.
82. Wei, M., et al., The association between cardiorespiratory fitness and impaired fasting glucose and type 2 diabetes mellitus in men. Annals of internal medicine, 1999. 130(2): p. 89-96.
83. Winnick, J.J., et al., Short-term aerobic exercise training in obese humans with type 2 diabetes mellitus improves whole-body insulin sensitivity through gains in peripheral, not hepatic insulin sensitivity. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2008. 93(3): p. 771-778.
84. Houmard, J.A., et al., Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. Journal of Applied Physiology, 2004. 96(1): p. 101-106.
85. Christ-Roberts, C.Y., et al., Exercise training increases glycogen synthase activity and GLUT4 expression but not insulin signaling in overweight nondiabetic and type 2 diabetic subjects. Metabolism, 2004. 53(9): p. 1233-1242.

86. Holten, M.K., et al., Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. Diabetes, 2004. 53(2): p. 294-305.
87. O'gorman, D., et al., Exercise training increases insulin-stimulated glucose disposal and GLUT4 (SLC2A4) protein content in patients with type 2 diabetes. Diabetologia, 2006. 49(12): p. 2983-2992.
88. Wang, Y., D. Simar, and M.A. Fiatarone Singh, Adaptations to exercise training within skeletal muscle in adults with type 2 diabetes or impaired glucose tolerance: a systematic review. Diabetes/metabolism research and reviews, 2009. 25(1): p. 13-40.
89. Pruchnic, R., et al., Exercise training increases intramyocellular lipid and oxidative capacity in older adults. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 2004. 287(5): p. E857-E862.
90. Duncan, G.E., et al., Exercise training, without weight loss, increases insulin sensitivity and postheparin plasma lipase activity in previously sedentary adults. Diabetes care, 2003. 26(3): p. 557-562.
91. Goodpaster, B.H., A. Katsiaras, and D.E. Kelley, Enhanced fat oxidation through physical activity is associated with improvements in insulin sensitivity in obesity. Diabetes, 2003. 52(9): p. 2191-2197.
92. Kelley, G. and K. Kelley, Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins in adults with type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized-controlled trials. Public health, 2007. 121(9): p. 643-655.
93. Braun, B., et al., Effects of insulin resistance on substrate utilization during exercise in overweight women. Journal of Applied Physiology, 2004. 97(3): p. 991-997.
94. Galbo, H., L. Tobin, and L.J. van Loon, Responses to acute exercise in type 2 diabetes, with an emphasis on metabolism and interaction with oral hypoglycemic agents and food intake. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2007. 32(3): p. 567-575.
95. Egede, L.E. and D. Zheng, Independent factors associated with major depressive disorder in a national sample of individuals with diabetes. Diabetes care, 2003. 26(1): p. 104-111.
96. Drew, B.G., et al., The emerging role of HDL in glucose metabolism. Nature Reviews Endocrinology, 2012. 8(4): p. 237-245.
97. Lakka, T.A. and D.E. Laaksonen, Physical activity in prevention and treatment of the metabolic syndrome. Applied physiology, nutrition, and metabolism, 2007. 32(1): p. 76-88.
98. Vickers, K.C. and A.T. Remaley, HDL and cholesterol: life after the divorce? Journal of lipid research, 2014. 55(1): p. 4-12.
99. Davidson, M.H., et al., Clinical utility of inflammatory markers and advanced lipoprotein testing: advice from an expert panel of lipid specialists. Journal of clinical lipidology, 2011. 5(5): p. 338-367.
100. Cooney, M., et al., HDL cholesterol protects against cardiovascular disease in both genders, at all ages and at all levels of risk. Atherosclerosis, 2009. 206(2): p. 611-616.
101. Mann, S., C. Beedie, and A. Jimenez, Differential effects of aerobic exercise, resistance training and combined exercise modalities on cholesterol and the lipid profile: review, synthesis and recommendations. Sports Medicine, 2014. 44(2): p. 211-221.

102. Farrell, S.W., C.E. Finley, and S.M. Grundy, Cardiorespiratory fitness, LDL cholesterol, and CHD mortality in men. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2012. 44(11): p. 2132-2137.
103. Gordon, B., S. Chen, and J.L. Durstine, The effects of exercise training on the traditional lipid profile and beyond. Current sports medicine reports, 2014. 13(4): p. 253-259.
104. Durstine, J.L., et al., Lipids, lipoproteins, and exercise. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention, 2002. 22(6): p. 385-398.
105. Kraus, W.E. and C.A. Slentz, Exercise training, lipid regulation, and insulin action: a tangled web of cause and effect. Obesity, 2009. 17(S3).
106. Kodama, S., et al., Effect of aerobic exercise training on serum levels of high-density lipoprotein cholesterol: a meta-analysis. Archives of internal medicine, 2007. 167(10): p. 999-1008.
107. Kokkinos, P.F., et al., Miles run per week and high-density lipoprotein cholesterol levels in healthy, middle-aged men: a dose-response relationship. Archives of Internal Medicine, 1995. 155(4): p. 415-420.
108. Kelley, G.A., K.S. Kelley, and Z.V. Tran, Aerobic exercise, lipids and lipoproteins in overweight and obese adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. International journal of obesity, 2005. 29(8): p. 881-893.
109. Goldberg, A.C., et al., Familial hypercholesterolemia: screening, diagnosis and management of pediatric and adult patients: clinical guidance from the National Lipid Association Expert Panel on Familial Hypercholesterolemia. Journal of clinical lipidology, 2011. 5(3): p. S1-S8.
110. WHO, Obesity: preventing and managing the global epidemic. 2000: World Health Organization.
111. Popkin, B.M., The world is fat. Scientific American, 2007. 297(3): p. 88-95.
112. ObEpi, Enquête épidémiologique nationale sur le surpoids et l'obésité. 2012, INSERM, Kantarhealth Roche.
113. Verdot, C., et al., Corpulence des enfants et des adultes en France Métropolitaine en 2015. Résultats de l'étude ESTEBAN et évolution depuis 2006. BEH 13: p. 234-241.
114. Serra-Majem, L. and I. Bautista-Castaño, Etiology of obesity: two “key issues” and other emerging factors. Nutricion hospitalaria, 2013. 28(5).
115. Hill, J.O., Understanding and addressing the epidemic of obesity: an energy balance perspective. Endocrine reviews, 2006. 27(7): p. 750-761.
116. Haslam, D., N. Sattar, and M. Lean, Obesity—time to wake up. Bmj, 2006. 333(7569): p. 640-642.
117. Wellen, K.E. and G.S. Hotamisligil, Inflammation, stress, and diabetes. Journal of Clinical Investigation, 2005. 115(5): p. 1111.
118. Ducimetiere, P. and J. Richard, The relationship between subsets of anthropometric upper versus lower body measurements and coronary heart disease risk in middle-aged men. The Paris Prospective Study. I. International journal of obesity, 1989. 13(1): p. 111-121.
119. Lafontan, M. and M. Berlan, Do regional differences in adipocyte biology provide new pathophysiological insights? Trends in Pharmacological Sciences, 2003. 24(6): p. 276-283.
120. Thalmann, S. and C.A. Meier, Local adipose tissue depots as cardiovascular risk factors. Cardiovascular research, 2007. 75(4): p. 690-701.

121. Kershaw, E.E. and J.S. Flier, Adipose tissue as an endocrine organ. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2004. 89(6): p. 2548-2556.
122. Must, A., et al., The disease burden associated with overweight and obesity. Jama, 1999. 282(16): p. 1523-1529.
123. Hardman, A.E. and D.J. Stensel, Physical activity and health: the evidence explained. 2009: Routledge.
124. Stiegler, P. and A. Cunliffe, The role of diet and exercise for the maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. Sports medicine, 2006. 36(3): p. 239-262.
125. Ballor, D.L. and E.T. Poehlman, Exercise-training enhances fat-free mass preservation during diet-induced weight loss: a meta-analytical finding. International journal of obesity and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity, 1994. 18(1): p. 35-40.
126. Kraemer, W.J., et al., Influence of exercise training on physiological and performance changes with weight loss in men. Medicine and science in sports and exercise, 1999. 31(9): p. 1320-1329.
127. Ravussin, E., et al., Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. New England Journal of Medicine, 1988. 318(8): p. 467-472.
128. INED. L'espérance de vie en France. January 2017 [cited 2017 08/06/2017]; Available from: https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/graphiques-cartes/graphiques-interpretes/esperance-vie-france/.
129. Masoro, E.J., Handbook of Physiology: Section 11: Aging. 1995: An American Physiological Society Book.
130. Lakatta, E.G., Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises. Circulation, 2003. 107(3): p. 490-497.
131. Shephard, R.J., Aging, physical activity, and health. 1997: Human Kinetics Publishers.
132. Chodzko-Zajko, W.J., et al., Exercise and physical activity for older adults. Medicine & science in sports & exercise, 2009. 41(7): p. 1510-1530.
133. Daley, M.J. and W.L. Spinks, Exercise, mobility and aging. Sports Medicine, 2000. 29(1): p. 1-12.
134. Jeandel, C., Effets des activités physiques sur le vieillissement cognitif. L'année Gérontologique, 1995. 9: p. 353-366.
135. Shephard, R., Physical fitness: exercise and ageing. Principles and practice of geriatric medicine. 2nd Edition. MSJ Pathy John Wiley & Sons Ttd Ed, 1991: p. 279-292.
136. Cress, M.E., et al., Exercise: effects on physical functional performance in independent older adults. Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 1999. 54(5): p. M242-M248.
137. Chakravarty, E.F., et al., Reduced disability and mortality among aging runners: a 21-year longitudinal study. Archives of internal medicine, 2008. 168(15): p. 1638-1646.
138. Rejeski, W.J., L.R. Brawley, and S.A. Shumaker, Physical activity and health-related quality of life. Exercise and sport sciences reviews, 1996. 24(1): p. 71-108.
139. Berger, B.G., The role of physical activity in the life quality of older adults. Physical activity and aging, 1989: p. 42-58.
140. McAuley, E. and D. Rudolph, Physical activity, aging, and psychological well-being. Journal of aging and physical activity, 1995. 3(1): p. 67-96.

141. Acree, L.S., et al., Physical activity is related to quality of life in older adults. Health and quality of life outcomes, 2006. 4(1): p. 37.
142. EuropeanCommission, Special Eurobarometer 412 Sport and physical activity. 2014.
143. Clark, D.O., Identifying psychological, physiological, and environmental barriers and facilitators to exercise among older low income adults. Journal of clinical geropsychology, 1999. 5(1): p. 51-62.
144. Lee, L.-L., A. Arthur, and M. Avis, Using self-efficacy theory to develop interventions that help older people overcome psychological barriers to physical activity: a discussion paper. International journal of nursing studies, 2008. 45(11): p. 1690-1699.
145. Buchheit, M. and P.B. Laursen, High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle: Part II: Anaerobic Energy, Neuromuscular Load and Practical Applications. Sports Medicine, 2013. 43(10): p. 927-954.
146. Gibala, M.J. and S.L. McGee, Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? Exercise and sport sciences reviews, 2008. 36(2): p. 58-63.
147. Weston, K.S., U. Wisløff, and J.S. Coombes, High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. British journal of sports medicine, 2014. 48(16): p. 1227-1234.
148. Bacon, A.P., et al., VO2max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. PloS one, 2013. 8(9): p. e73182.
149. Weston, M., et al., Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. Sports Medicine, 2014. 44(7): p. 1005-1017.
150. Boutcher, S.H., High-intensity intermittent exercise and fat loss. Journal of obesity, 2010. 2011.
151. Gillen, J.B., et al., Interval training in the fed or fasted state improves body composition and muscle oxidative capacity in overweight women. Obesity, 2013. 21(11): p. 2249-2255.
152. Tomlin, D.L. and H.A. Wenger, The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. Sports Medicine, 2001. 31(1): p. 1-11.
153. Tjonna, A.E., et al., Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. Circulation, 2008. 118(4): p. 346-354.
154. Tjonna, A.E., et al., Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. Clinical science, 2009. 116(4): p. 317-326.
155. Rakobowchuk, M., et al., Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology, 2008. 295(1): p. R236-242.
156. Dunn, S.L., Effects of Exercise and Dietary Intervention on Metabolic Syndrome Markers of Inactive Premenopausal Women, in Faculty of Medicine. 2009, University of New South Wales: Sydney, Australia.

157. Trapp, E.G., et al., The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. International Journal of Obesity, 2008. 32(4): p. 684-691.
158. Mourier, A., et al., Mobilization of visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM. Effects of branched-chain amino acid supplements. Diabetes Care, 1997. 20(3): p. 385-391.
159. Burgomaster, K.A., et al., Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. The Journal of physiology, 2008. 586(1): p. 151-160.
160. Coquart, C., et al., Effets chroniques des exercices intermittents sur l'apport énergétique des femmes obèses: une étude préliminaire. Obésité, 2009. 4(1): p. 49-53.
161. McKay, B.R., D.H. Paterson, and J.M. Kowalchuk, Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O2 uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. J Appl Physiol, 2009. 107(1): p. 128-138.
162. Nybo, L., et al., High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. Med Sci Sports Exerc, 2010. 42(10): p. 1951-1958.
163. Helgerud, J., et al., Aerobic high-intensity intervals improve VO2max more than moderate training. Med Sci Sports Exerc, 2007. 39(4): p. 665-671.
164. Schjerve, I.E., et al., Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults. Clinical science, 2008. 115(9): p. 283-293.
165. Tremblay, A., J.A. Simoneau, and C. Bouchard, Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. Metabolism: clinical and experimental, 1994. 43(7): p. 814-818.
166. Talanian, J.L., et al., Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. J Appl Physiol, 2007. 102(4): p. 1439-1447.
167. Gibala, M.J., et al., Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. The Journal of physiology, 2006. 575(Pt 3): p. 901-911.
168. Burgomaster, K.A., G.J. Heigenhauser, and M.J. Gibala, Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. Journal of applied physiology, 2006. 100(6): p. 2041-2047.
169. Mendelson, M., et al., Activité physique dans la prise en charge de l'obésité: effets bénéfiques et modalités pratiques. Obésité, 2012.
170. Dishman, R.K. and J. Buckworth, Increasing physical activity: a quantitative synthesis. Medicine and science in sports and exercise, 1996. 28(6): p. 706-719.
171. Marcus, B.H., et al., Physical activity intervention studies. Circulation, 2006. 114(24): p. 2739-2752.
172. Rhodes, R.E. and A. Kates, Can the affective response to exercise predict future motives and physical activity behavior? A systematic review of published evidence. Annals of Behavioral Medicine, 2015. 49(5): p. 715-731.
173. Williams, D.M., et al., Acute affective response to a moderate-intensity exercise stimulus predicts physical activity participation 6 and 12 months later. Psychol Sport Exerc, 2008. 9(3): p. 231-245.

174. Russell, J.A., Core affect and the psychological construction of emotion. Psychol Rev, 2003. 110(1): p. 145-72.
175. Fredrickson, B.L., The role of positive emotions in positive psychology. The broaden-and-build theory of positive emotions. Am Psychol, 2001. 56(3): p. 218-26.
176. Batson, C.D., L.L. Shaw, and K.C. Oleson, Differentiating affect, mood, and emotion: Toward functionally based conceptual distinctions, in Review of personality and social psychology. 1992: Newbury Park, CA: Sage. p. 294-326.
177. Cabanac, M., Sensory pleasure. The quarterly review of biology, 1979. 54(1): p. 1-29.
178. Panksepp, J., The periconscious substrates of consciousness: Affective states and the evolutionary origin of the self. Journal of Consciousness Studies, 1998. 12: p. 158-184.
179. Russell, J.A., A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 1980. 39: p. 1161-1178.
180. Russell, J.A., Measures of emotion, in Emotion: Theory, research, and experience, R. Plutchik and H. Kellerman, Editors. 1989, Academic Press: San Diego, CA. p. 83-111.
181. Russell, J.A., How shall an emotion be called?, in Circumplex models of personality and emotions, R. Plutchik and H.R. Conte, Editors. 1997, American Psychological Association: Washington, DC. p. 205-220.
182. Feldman Barrett, L., Circumplex models, in The Oxford companion to emotion and the affective sciences, D. Sander and K.R. Scherer, Editors. 2009, Oxford University Press: New York. p. 85-88.
183. Ekkekakis, P., E.E. Hall, and S.J. Petruzzello, The relationship between exercise intensity and affective responses demystified: to crack the 40-year-old nut, replace the 40-year-old nutcracker! Ann Behav Med, 2008. 35(2): p. 136-49.
184. Ekkekakis, P., E.E. Hall, and S.J. Petruzzello, Variation and homogeneity in affective responses to physical activity of varying intensities: an alternative perspective on dose-response based on evolutionary considerations. J Sports Sci, 2005. 23(5): p. 477-500.
185. Wasserman, K. and B.J. Whipp, Excercise physiology in health and disease. Am Rev Respir Dis, 1975. 112(2): p. 219-249.
186. Parfitt, G. and S. Hughes, The exercise intensity-affect relationship: evidence and implication for exercise behavior. J Exerc Sci Fit, 2009. 7(2): p. 34-41.
187. Kahneman, D., et al., When more pain is preferred to less: Adding a better end. Psychological science, 1993. 4(6): p. 401-405.
188. Zenko, Z., P. Ekkekakis, and D. Ariely, Can you have your vigorous exercise and enjoy it too? Ramping intensity down increases postexercise, remembered, and forecasted pleasure. Journal of Sport and Exercise Psychology, 2016. 38(2): p. 149-159.
189. Fredrickson, B.L. and D. Kahneman, Duration neglect in retrospective evaluations of affective episodes. Journal of personality and social psychology, 1993. 65(1): p. 45.
190. Ekkekakis, P., Let Them Roam Free? Sports Medicine, 2009. 39(10): p. 857-888.
191. Dishman, R.K., Compliance/adherence in health-related exercise. Health psychology, 1982. 1(3): p. 237.
192. Pollock, M.L., Health and fitness through physical activity. 1978.
193. King, A.C., et al., Group-vs home-based exercise training in healthy older men and women: a community-based clinical trial. Jama, 1991. 266(11): p. 1535-1542.
194. Andersen, R.E., et al., Effects of lifestyle activity vs structured aerobic exercise in obese women: a randomized trial. Jama, 1999. 281(4): p. 335-340.

195. Rose, E. and G. Parfitt, A quantitative analysis and qualitative explanation of the individual differences in affective responses to prescribed and self-selected exercise intensities. Journal of Sport and Exercise Psychology, 2007. 29(3): p. 281-309.
196. Ekkekakis, P., et al., The mysterious case of the public health guideline that is (almost) entirely ignored: call for a research agenda on the causes of the extreme avoidance of physical activity in obesity. Obesity Reviews, 2016.
197. Ekkekakis, P. and E. Lind, Exercise does not feel the same when you are overweight: the impact of self-selected and imposed intensity on affect and exertion. Int J Obes (Lond), 2006. 30(4): p. 652-60.
198. Hardy, C.J. and W.J. Rejeski, Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. Journal of Sport and Exercise Psychology, 1989. 11: p. 304-317.
199. Ekkekakis, P., E. Lind, and S. Vazou, Affective responses to increasing levels of exercise intensity in normal-weight, overweight, and obese middle-aged women. Obesity (Silver Spring), 2010. 18(1): p. 79-85.
200. Svebak, S. and S. Murgatroyd, Metamotivational dominance: a multimethod validation of reversal theory constructs. Journal of Personality and Social Psychology, 1985. 48: p. 107-116.
201. Decker, E.S. and P. Ekkekakis, More efficient, perhaps, but at what price? Pleasure and enjoyment responses to high-intensity interval exercise in low-active women with obesity. Psychology of Sport and Exercise, 2017. 28: p. 1-10.
202. Focht, B.C., et al., Affective and self-efficacy responses to acute aerobic exercise in sedentary older and younger adults. Journal of Aging and Physical Activity, 2007. 15(2): p. 123-138.
203. Coquart, J.B., et al., Intermittent versus continuous exercise: effects of perceptually lower exercise in obese women. Med Sci Sports Exerc, 2008. 40(8): p. 1546-53.
204. Deci, E.L., A.H. Olafsen, and R.M. Ryan, Self-determination theory in work organizations: the state of a science. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 2017. 4(1).
205. Deci, E.L. and R.M. Ryan, Handbook of self-determination research. 2002: University Rochester Press.
206. Teixeira, P.J., et al., Exercise, physical activity, and self-determination theory: a systematic review. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2012. 9(1): p. 78.
207. Owen, K.B., et al., Self-determined motivation and physical activity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. Preventive medicine, 2014. 67: p. 270-279.
208. Deci, E.L. and R.M. Ryan, The general causality orientations scale: Self-determination in personality. Journal of research in personality, 1985. 19(2): p. 109-134.
209. Sarrazin, P.G., et al., Nourrir une motivation autonome et des conséquences positives dans différents milieux de vie : les apports de la théorie de l'autodétermination., in Traité de psychologie positive, C. Martin-Krumm and C. Tarquinio, Editors. 2011, De Boeck: Bruxelles. p. 273-312
210. Rose, E. and G. Parfitt, Exercise experience influences affective and motivational outcomes of prescribed and self-selected intensity exercise. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2012. 22(2): p. 265-277.

211. Edmunds, J., N. Ntoumanis, and J.L. Duda, Adherence and well-being in overweight and obese patients referred to an exercise on prescription scheme: A self-determination theory perspective. Psychology of Sport and Exercise, 2007. 8(5): p. 722-740.
212. Pelletier, L.G., et al., Associations among perceived autonomy support, forms of self-regulation, and persistence: A prospective study. Motivation and emotion, 2001. 25(4): p. 279-306.
213. Pelletier, L.G., et al., Why do you regulate what you eat? Relationships between forms of regulation, eating behaviors, sustained dietary behavior change, and psychological adjustment. Motivation and Emotion, 2004. 28(3): p. 245-277.
214. Mildestvedt, T., E. Meland, and G.E. Eide, How important are individual counselling, expectancy beliefs and autonomy for the maintenance of exercise after cardiac rehabilitation? Scandinavian Journal of Social Medicine, 2008. 36(8): p. 832-840.
215. Williams, G.C., et al., Motivational predictors of weight loss and weight-loss maintenance. Journal of personality and social psychology, 1996. 70(1): p. 115.
216. Williams, G.C., et al., Motivational predictors of weight loss and weight-loss maintenance. J Pers Soc Psychol, 1996. 70(1): p. 115-26.
217. Silva, M.N., et al., Using self-determination theory to promote physical activity and weight control: a randomized controlled trial in women. Journal of behavioral medicine, 2010. 33(2): p. 110-122.
218. Wasserman, K. (1987). Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. Circulation, 76(6 Pt 2), VI29-39.
219. Jeukendrup, A.E. and G.A. Wallis, Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. Int J Sports Med, 2005. 26 Suppl 1: p. S28-37.
220. Brun, J.F., et al., Metabolic training: new paradigms of exercise training for metabolic diseases with exercise calorimetry targeting individuals. Ann Readapt Med Phys, 2007. 50(6): p. 528-34.
221. Reeder, S.B., et al., Quantitative assessment of liver fat with magnetic resonance imaging and spectroscopy. J Magn Reson Imaging, 2011. 34(4): p. 729-49.
222. Levy, J.C., D.R. Matthews, and M.P. Hermans, Correct homeostasis model assessment (HOMA) evaluation uses the computer program. Diabetes care, 1998. 21(12): p. 2191-2192.
223. Lusk, G., Animal calorimetry twenty-fourth paper. Analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrate and fat. Journal of Biological Chemistry, 1924. 59(1): p. 41-42.
224. Guay, F., R.J. Vallerand, and C. Blanchard, On the assessment of situational intrinsic and extrinsic motivation: The Situational Motivation Scale (SIMS). Motivation and emotion, 2000. 24(3): p. 175-213.
225. Borg, G., Borg's perceived exertion and pain scales. 1998: Human kinetics.
226. Clodore, M., O. Benoit, and J. Foret, Diurnal variation in subjective and objective measures of sleepiness: the effects of sleep reduction and circadian type. Chronobiology international, 1986. 3(4): p. 255-263.
227. Thayer, R.E., The biopsychology of mood and arousal. 1990: Oxford University Press.
228. Ekkekakis, P., E.E. Hall, and S.J. Petruzzello, Some like it vigorous: Measuring individual differences in the preference for and tolerance of exercise intensity. Journal of Sport and Exercise Psychology, 2005. 27(3): p. 350-374.

229. Sarrazin, P., et al., Echelle de motivation pour l'activité physique, in Document interne non publié du laboratoire Sport et Environnement Social. 2007, Université Joseph Fourier: Grenoble.
230. Deci, E.L. and R.M. Ryan, The" what" and" why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. Psychological inquiry, 2000. 11(4): p. 227-268.
231. Rhodes, R.E. and K.S. Courneya, Threshold assessment of attitude, subjective norm, and perceived behavioral control for predicting exercise intention and behavior. Psychology of Sport and Exercise, 2005. 6(3): p. 349-361.
232. Stunkard, A.J. and T.A. Wadden, Psychological aspects of severe obesity. Am J Clin Nutr, 1992. 55(2 Suppl): p. 524S-532S.
233. Durstine, J.L., et al., ACSM's Exercise Management for Persons With Chronic Diseases and Disabilities. 2009, Champaign, IL: Human Kinetics.
234. Alberti, K.G.M., P. Zimmet, and J. Shaw, The metabolic syndrome—a new worldwide definition. The Lancet, 2005. 366(9491): p. 1059-1062.
235. Grundy, S.M., et al., Diagnosis and management of the metabolic syndrome. Circulation, 2005. 112(17): p. 2735-2752.
236. Milanović, Z., G. Sporiš, and M. Weston, Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO2max improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. Sports medicine, 2015. 45(10): p. 1469-1481.
237. Little, J.P., et al., Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. Journal of applied physiology, 2011. 111(6): p. 1554-1560.
238. Ciolac, E.G., et al., Heart rate response to exercise and cardiorespiratory fitness of young women at high familial risk for hypertension: effects of interval vs continuous training. European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation, 2011. 18(6): p. 824-830.
239. Menshikova, E.V., et al., Characteristics of skeletal muscle mitochondrial biogenesis induced by moderate-intensity exercise and weight loss in obesity. Journal of Applied physiology, 2007. 103(1): p. 21-27.
240. Horowitz, J.F. and S. Klein, Lipid metabolism during endurance exercise. The American journal of clinical nutrition, 2000. 72(2): p. 558s-563s.
241. Holloszy, J.O. and E.F. Coyle, Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. Journal of applied physiology, 1984. 56(4): p. 831-838.
242. Heydari, M., J. Freund, and S.H. Boutcher, The effect of high-intensity intermittent exercise on body composition of overweight young males. Journal of obesity, 2012. 2012.
243. MacInnis, M.J. and M.J. Gibala, Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. The Journal of physiology, 2017. 595(9): p. 2915-2930.
244. Dumortier, M., et al., Low intensity endurance exercise targeted for lipid oxidation improves body composition and insulin sensitivity in patients with the metabolic syndrome. Diabetes & metabolism, 2003. 29(5): p. 509-518.
245. Matthews, C.E., et al., Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003–2004. American journal of epidemiology, 2008. 167(7): p. 875-881.
246. Schuna, J.M., W.D. Johnson, and C. Tudor-Locke, Adult self-reported and objectively monitored physical activity and sedentary behavior: NHANES 2005–2006.

International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2013. 10(1): p. 126.
247. Mantoani, L.C., et al., Interventions to modify physical activity in patients with COPD: a systematic review. European Respiratory Journal, 2016: p. ERJ-01744-2015.
248. Mesquita, R., et al., Changes in physical activity and sedentary behaviour following pulmonary rehabilitation in patients with COPD. Respiratory Medicine, 2017. 126: p. 122-129.
249. Mitranun, W., et al., Continuous vs interval training on glycemic control and macro- and microvascular reactivity in type 2 diabetic patients. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2014. 24(2).
250. Wisløff, U., et al., Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients. Circulation, 2007. 115(24): p. 3086-3094.
251. Koval, J.A., et al., Effects of exercise and insulin on insulin signaling proteins in human skeletal muscle. Medicine and science in sports and exercise, 1999. 31(7): p. 998-1004.
252. Ward, D.S. and O. Bar-Or, Use of the Borg scale in exercise prescription for overweight youth. Canadian journal of sport sciences= Journal canadien des sciences du sport, 1990. 15(2): p. 120-125.
253. Peyrot, N., et al., Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents? Journal of Applied Physiology, 2009. 106(6): p. 1763-1770.
254. Donnelly, J.E., et al., American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. Medicine and science in sports and exercise, 2009. 41(2): p. 459-471.
255. Boutcher, S.H. and S.L. Dunn, Factors that may impede the weight loss response to exercise-based interventions. Obes Rev, 2009. 10(6): p. 671-80.
256. Vazou-Ekkekakis, S. and P. Ekkekakis, Affective consequences of imposing the intensity of physical activity: does the loss of perceived autonomy matter. Hellenic Journal of Psychology, 2009. 6(2): p. 125-144.
257. Skelly, L.E., et al., High-intensity interval exercise induces 24-h energy expenditure similar to traditional endurance exercise despite reduced time commitment. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2014. 39(7): p. 845-848.

# Annexes

Annexe A

ÉTUDE DE LA SIGNALÉTIQUE PIÉTONNE

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale : **Congrès AFAPA Amiens – 12, 13, 14 Mai 2016**

## Pedestrian signage: a mean to increase long term physical activity?

**Journal of Physical Activity & Health**: *article en revision*

**Running head:** pedestrian signage and walking

**Public Health Practice**

**Keywords:** Long Term Physical Activity Commitment, Cardiometabolic Health, Motivation toward Physical Activity, Walking, Frequentation Study

**Abstract word count**: 186

**Manuscript word count**: 4413

**Abstract**

Background: French population does not achieve recommended physical activity (PA) levels. Promoting walking as an active transport through urban environment is a recommended strategy to maintain health. We assessed long-term effect of pedestrian signage in the city of Grenoble (France).

Methods: We compared the frequentation on 2 crossroads in a neighborhood equipped (PSN) with 2 crossroads of a similar neighborhood not equipped (CN) with signage. Secondly we compared 2 groups recruited in each neighborhood (PSG vs CG) on daily step number, cardiometabolic risk and motivation toward PA, during a one year.

Results: The frequentation slightly increased between June and December (effect size: 0.5; $p < 0.05$) in PSN (effect size). Forty-two subjects (22 in PSG and 20 in CG) accepted to participate in this study. However, 70% of the recruited subjects did not see the pedestrian signage.

Conclusions: On the basis of frequentation study, such a pedestrian signage may be incentive to increase PA. Lack of effects on a population sample may be due to lack of visibility of the pedestrian signage. A larger communication on this urban environment may improve involvement of a targeted population.

## Introduction

Physical activity (PA) provides significant physical and mental health benefits (1, 2). Walking is the most natural type of exercise (3) which does not needs specific equipment. It is feasible at any age or any time and allows expending enough energy to meet WHO's recommendations. More specifically, regular walking increases life expectancy, reduces the incidence of non-communicable diseases (4), improves cardiovascular capacity (3), and decrease cardiovascular disease risk (5). However, 51% of French population do not achieve recommended PA level (6). The most cited barriers to PA are lack of time and motivation (7, 8). Hence, to be relevant PA/walking promoting programs should be developed to overcome these two major barriers. At the community level, promoting walking as an active transport mode for short distances (below 2 km) or as a leisure time PA (through media campaigns, policy and environmental changes, community events, PA counseling and education at work sites and at schools, and community health fairs) is recommended (9). It has recently been shown that urban environments (net residential density, intersection density, public transport density, and local parks) had the potential to increase PA by 90 min/week i.e., 60% of the amount recommended (10). However, studies of built environment and PA have been criticized for relying only on self-report measures (11). There is a need to correlate objective measures of PA, such as pedometers, with objective measures of environmental attributes relevant to PA, such as pedestrian signals. Urban pedestrian signage with time travel indication could be an incentive mean for people to walk more and has been implemented in numerous cities in the world (e.g., Hamburg (Germany), London (UK), Brisbane (Australia), Paris (France)…). In France in 2011, 16 % of responders (9 cities) declared that the signage was easy to spot and visible and that they were encouraged to walk more (12). Nevertheless, to our knowledge, the long term efficiency of urban pedestrian signage has not been thoroughly assessed particularly in a longitudinal design study. Moreover, impact of such environment intervention on health indicators is always assumed but rarely tested.

In addition, the lack of motivation being a major PA participation barrier, a crucial question is whether pedestrian signage is an incentive strategy that may impact individuals' motivation for PA. According to Self Determination Theory (SDT) there are many types of motivation that are more or less autonomous or controlled (13) and have direct effects on behavior: autonomous forms of motivation are related to spontaneous and regular PA adherence, whereas controlled forms of motivation are associated with lack of commitment and abandonment of activity (14). Thus, one ambition of this study was to examine whether pedestrian signage might develop autonomous motivation towards walking as a transport mode.

In sum, the aim of this study was to evaluate long term (1 year) effects of pedestrian signage on PA level and motivation toward PA on Grenoble citizens. In order, to check the potential benefits of walking on the health of this sample, we monitored simple cardiometabolic indicators. We hypothesized a long-term positive impact of urban pedestrian signage on commitment to walk, on motivation toward PA and in turn an improvement of the cardiometabolic indicators.

## Methods

This study was approved by local ethic committee for non-interventional research of Grenoble Alpes University (CERNI; authorization number: 2013-03-19-11).

### Subjects

Forty two participants were recruited at random from 2 neighborhoods presenting the same characteristics (area, number of citizen) and noticeably low socio-economic levels (as requested by the Public and Environmental Health Direction of Grenoble town). One of these two neighborhoods was equipped with pedestrian signage (pedestrian signage group, PSG, n=22). The other was not equipped (control group, CG, n=20). Inclusion criteria were the following: male or female subjects older than 40 years (because of greater cardiometabolic and leisure inactivity risks), inactive during leisure time (i.e., less than 1 hour/week), but able to walk. Recruitment was performed by identifying persons older than 40 years from electoral lists on a drawing lots basis [17]. Then they were contacted by phone to check their eligibility for the study and to get their informed consent if they volunteered to participate. In case of non-inclusion, we proceeded to new drawing lots with the goal of recruiting 70 subjects by neighborhood, corresponding to the sample size calculated to provide a 4% increase in frequentation in

prompt of decision studies (Centers for Disease Control and Prevention, 2011). The recruitment campaign lasted 3 months after what a communication campaign on the usefulness of this device by the city of Grenoble (local TV channel, displayed in bus shelters). Owing to the difficulties to recruit 70 participants by neighborhood, the recruitment strategy was changed: ~2000 brochures dropped out in mail-boxes, ~1500 phone calls to potential participants and ~2800 letters sent. The characteristics of the recruited subjects are presented in table 1. Despite these efforts 42 participants (17 men and 25 women) only were recruited in both neighborhoods: 22 in PSG (8 men and 14 women) and 20 in CG (9 men and 11 women).

Among the participants, there were 25 retired (PSG: 14; CG: 11), 15 professionally active (PSG: 7; CG: 8) and 2 housewives (PSG: 1; CG: 1), 24 had higher education level (PSG: 15; CG: 9), 14 secondary education level (PSG: 5; CG: 9). Walking was the main way of locomotion for 8 subjects (PSG: 4; CG: 4), walking combined with public or individual transport (e.g., bus, car, bike) for 17 participants (PSG: 9; CG: 8), the other 17 participants did not use walking as a transport mode.

To ensure the equivalence between these two small sub-samples, anthropometric characteristics were measured: height, weight, BMI, waist circumference, hip circumference and waist to hip ratio. There were no significant differences in: age, height, weight or BMI between the both groups before (Pre) and at the end of the study (Post) (table 1).

In order to prevent bias linked to eventual modifications of PA behaviors we did not disclose the main goal of the study (influence of pedestrian signage on PA). We proposed a follow up of cardiovascular health of Grenoble citizens using simple indicators.

**Experimental design**

In 2013 the pedestrian signage was implemented in the city of Grenoble to encourage walking in the frame of the national campaign: "Moving 30 minutes per day, it's easy!" leaded by the National Institute for Health Prevention and Education (INPES). Two hundred and seventy panels (length: 100 cm, height: 25 cm) indicated direction, place and travel time. The total involvement of the participants in the study was 12 months (from Mars 2013 to June 2014). PA level was evaluated every 3 months (M1: March; M2: June; M3: September; M4: December; M5: March) during one week. The anthropometric and cardiometabolic variables were measured at the beginning and at the end of the study. The motivation toward PA was assessed at the beginning, after 6 months and at the end of the study.

In addition, we performed a frequentation study by counting the number of passages on 4 crossroads (two in neighborhood with pedestrian signage, PSN and two in control neighborhood, CN) 2 times per week (on one workday and on one weekend day) every 3 months (i.e., 5 measure occasions: M1-M5) between 1PM and 5PM from March 2013 to March 2014 by a licensed company (Alyce Sofreco, Lyon, France). The crossroads had similar characteristics: proximity of bus stops, shops, number of inhabitants.

**Physical activity level**

The objective PA level of the participants was assessed with pedometry using the YamaxDigi-Walker CW700 pedometer (Yamax Corp., Tokyo, Japan). This device (worn on belt) provided step number, expended calories, time of activity and distance stored in the device over 7 days with an accuracy of 97%. The participants were asked to wear the pedometer for 7 days every 3 months except for showering or engaging in any activity in wet environment (e.g., swimming). Participants were not aware that the monitor was designed to measure PA in order to avoid bias. They were informed that the monitor measured the hip movements helping to predict the risk of hip osteoarthritis. In order to mask the information displayed by the pedometers which could encourage participants to walk more, the screen of the pedometers was masked with tape.

**PA motivation questionnaire**

The measure of motivation for participating in active transport (walking/ biking) was based on the Self-Regulation Questionnaire for exercise (SRQ-E) (15), with the amotivation scale added from the Sport Motivation Scale (16). This tool includes16 items and assesses the multifaceted motivational regulations proposed by SDT. The participants responded to items reflecting intrinsic motivation (e.g., walking/ cycling is fun), identified regulation (e.g., I feel like it's the best way to help myself), controlled regulation (e.g., I feel like I have to use an active transport mode), and amotivation (e.g., I don't know, I can't see what I gain when I am walking/ biking). Each item was rated on a 7-point Likert scale ranging from 1 (not true

at all) to 7 (very true). The questionnaire was administered at the beginning, after 6 months and at the end of the study. In this study, all sub-scales had adequate Cronbach alphas ranged from 0.79-0.84. Thus the average of the items on each sub-scale was used for our analysis.

**Anthropometric measures and cardiometabolic indicators**

They consisted in measuring body weight (in light clothing and without shoes), height (and BMI) waist circumference (taken at midway between the lowest rib margin and the iliac crest), hip circumference (taken at the widest level over the greater trochanters), blood pressure (3 measures separated with 1 minute rest were taken using M6 Comfort automatic blood pressure monitor (Omron Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japan) after having the participant seated quietly for 5 min). The results of lipid profile (total cholesterol, LDL-cholesterol, HDL-cholesterol, triglycerides) and glycaemia at the beginning of the study and 12 months after were obtained from the participants. We estimated the ten-year risk of fatal cardiovascular disease with the online HeartScore version of SCORE risk charts (Systematic COronary Risk Evaluation) (17, 18).

**Pedestrian signage questionnaire**

To evaluate the recognition of pedestrian signage implemented in the city the participants responded to three questions one year after their inclusion in the study: 1) "In the past year, do you remember seeing the pedestrian signage placed in the city streets"? 2) "Do you think that you are concerned by this signage"? 3) "Do you think that the signage has encouraged you to walk more/ will encourage you to walk more in the future"?

**Statistical analysis**

Results are expressed as mean ± standard deviation. The statistical analysis was performed using statistical software STATISTICA version 6 (StatSoft France 2004, www.statsoft.com). Normality was assessed using tests of Skewness and Kurtosis and equality of variance was assessed by Levene's test. Differences between groups were examined over time using two-way (group ×time) repeated measure ANOVA, followed by student's t-test with a Bonferroni correction for multiple comparisons in case of significance.

**Results**

**Effect of pedestrian signage on walk activity**

**Frequentation assessed on general population**

The frequentation (average passage number on all crossroads in each neighborhood) in PSN was significantly different between measure 2 (June) and measure 4 (December) (effect size: 0.5; $p<0.05$) (Figure 1). There were no major changes observed in the number of passages between the two groups at any time point.

**PA level in the groups sampled in each neighborhood: pedometry**

The number of steps/day did not significantly differ between the groups at any time measurement (Table 2).

**Effects of pedestrian signage on anthropometric characteristics and indicators related to cardiometabolic health**

Neither anthropometric characteristics nor indices of cardiometabolic indicators differed between groups and between the different time points (Pre vs Post) for a given group (table 1).

**Motivation for PA**

The level of autonomous motivation was high, and that of controlled motivation—was low before, during (results not presented) and at the end of the study but it did not differ between groups (Table 1).

**Pedestrian signage questionnaire**

In both groups, the majority of the participants indicated that they did not see the pedestrian signage in the city (PSG: 15; CG: 14) and the other 13 participants (PSG: 7; CG: 6) acknowledged the presence of the panels in the city (Figure 2). Although, the participants felt concerned by those signs (PSG: 12; CG: 13 vs 17 not concerned: PSG: 10; CG: 7) they have not been encouraged/will not be encouraged to walk more (PSG: 12; CG: 12). Only 5 participants reported that the panels had or can have an influence on their behavior, but no such change was observed.

**Discussion**

Owing to infrequent use of standardized measures in the field of urban environment (10) and the need of objectives measures of PA (19), in the present study we attempted to evaluate long term (1 year) effects of pedestrian signage on PA level and on motivation toward PA of a sample of Grenoble citizens. We assessed daily step counts using pedometer, which is considered as a good correlate of objective PA induced by built environment (20). In addition, we checked the

consequences of such a device on cardiometabolic health indicators.

Owing to recruitment difficulties, we included only 42 participants underpowering this study. The main reasons of this non-participation were lacks of interest, of time, lack of gratification for participation, personal issues, health issues or good health. The study was addressed to population of two neighborhoods with low socio-economic status. Although, the majority of volunteers presented some similar characteristics: most of them were about 60 years old, retired, in good health, with high education level and with a better socio-economic status compared to the population targeted in this study. This observation confirms the difficulty to commit people with low to modest socio-economic status in healthy behaviors, justifying the priority to increase health risk prevention in this population (10).

The frequentation was not altered in CN, but was increased in PSN between June and December suggesting a possible transitory effect of pedestrian signage. Indeed, cross sectional urban environment meta-analysis generally adjust the results of objectively measured PA to some factors among which weather or season (19). We cannot exclude the increased frequentation observed in PSN was linked for instance to the preparation of Christmas (gifts shopping). However, this increase occurs only in the pedestrian signage neighborhood, suggesting a possible effect of pedestrian signage. Of note, in average, for each time point, the frequentation was greater in the pedestrian signage neighborhood but did not reach statistical significance ($F(1, 6) = 1.87$; $p=0.22$). For financial reasons, the frequentation has been performed in the afternoon. An assessment all day long would have been more relevant.

Walking activity (measured with pedometry) and cardiometabolic health indicators did not differ between the groups at any time point. Based on this result we could not confirm the efficacy of the pedestrian signage in a sample of Grenoble citizens. This contrasts with a more traditional literature reporting an overall median effect size of 161% in the number of walkers (21). As stated above, the lack of difference might have been due to insufficient sample size. However such a hypothesis is very difficult to sustain owing to the insignificant variation of daily step counts and of cardiometabolic indicators along the year whatever the group considered. The results of this study could have been explained by a ceiling effect. Indeed, the participants can be categorized as fairly active taking into account the minimum amount of 7500 steps/day to get health benefits (22). Mean number of steps achieved at baseline by our participants were greater than those of the French population around 65 years of age (week: 5850 steps/day; weekend: 5751 steps/day) at the time of our study (23).

In the same way, cardiometabolic health indicators were in the normal range values indicating that the participants were in rather good health and had low cardiometabolic risk. Hence, the participants' relatively high level of PA and good health at baseline tend to explain the lack of change because of a ceiling effect. In addition, the difficulties to recruit less active participants may mean that the sample of volunteers did not represent the whole inhabitants of these two neighborhoods. The evaluation of motivation's type showed that the participants of our study had a high baseline level of autonomous motivation. These results were not different in the two groups and they were stable throughout the study. This result confirms the relationship between high level of autonomous motivation and regular PA participation (for review see (14))

However, the absence of behavior change can be explained by the lack of relevance of pedestrian signage regarding participants' answers to the questionnaire. In this study, 70% of participants declared they had not seen the pedestrian signage in the city. Perception and acceptability of this pedestrian signage have been also evaluated in 2012 (24). The main results of this survey showed that 1) less than 20% of recruited Grenoble citizens have seen this signage placed in the city, and 2) the panels were easy to understand but were not visible enough. The present study confirmed previous results: the pedestrian signage was not spotted enough in this urban environment. Thus the location and/ or the design of the pedestrian signage need to be thought again. This confirms the literature stating the need to make a high effort of communication to increase the effect of the urban environment on behavior change (25).

*Perspectives*

Despite lack of long term effects of pedestrian signage on a sample of Grenoble citizen, we observed with more traditional evaluation a greater frequentation tendency in the

pedestrian signage neighborhood over one year compared to the control neighborhood. Moreover, frequentation increased between June and December only in PSN. These results which need confirmation suggest the potential efficiency of pedestrian signage. Taking into account the difficulties to recruit population and the need to prevent/treat health problems, one perspective of our approach could be to target persons with chronic diseases with a huge communication on the interest of pedestrian signage to assess the real impact of this device on health (secondary prevention).

**Conclusion**

Despite a slight effect on frequentation assessed with more traditional method, we failed to show an effect of pedestrian signage on long term objective PA (pedometry), cardiometabolic indicators and motivation toward PA in a sample of recruited citizens. Low sample size not representative of the general population of neighborhood, fair level of PA, high autonomous motivation toward PA, and good health at baseline could explain in part these results. However, the lack of visibility of the panels is also an important result to consider, and suggests that the device must be more largely communicated (25).

Finally, the originality of this study was to triangulate a traditional evaluation (frequentation study) with objective measures (pedometry, cardiometabolic indicators) and self-reported measures (pedestrian signage and motivation questionnaires).

**Acknowledgements**

The authors thanks the Public and Environmental Health Direction of Grenoble town for their logistic and administrative support

**Funding source:** This study was supported by a grant from Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé and the city of Grenoble.

**References**:

1. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical activity guidelines advisory committee report, 2008. Washington, DC: US Department of Health and Human Services. 2008;2008:A1-H14.
2. Warburton DE, Nicol CW, Bredin SS. Health benefits of physical activity: the evidence. CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne. 2006 Mar 14;174(6):801-9.
3. Morris JN, Hardman AE. Walking to health. Sports medicine. 1997 May;23(5):306-32.
4. WHO. Global status report on noncommunicable diseases 2014. Geneva: WHO; 2014 Contract No.: Document Number|.
5. Manson JE, Greenland P, LaCroix AZ, Stefanick ML, Mouton CP, Oberman A, et al. Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. The New England journal of medicine. 2002 Sep 5;347(10):716-25.
6. Vuillemin A, Escalon H, Bossard C. Activité physique et sédentarité. In: Escalon H, Bossard C, Beck F, editors. Baromètre santé nutrition 2008. Saint-Denis: INPES; 2008.
7. Cerin E, Leslie E, Sugiyama T, Owen N. Perceived barriers to leisure-time physical activity in adults: an ecological perspective. Journal of physical activity & health. 2010 Jul;7(4):451-9.
8. King AC, Castro C, Wilcox S, Eyler AA, Sallis JF, Brownson RC. Personal and environmental factors associated with physical inactivity among different racial-ethnic groups of U.S. middle-aged and older-aged women. Health psychology : official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association. 2000 Jul;19(4):354-64.
9. WHO. Global strategy on diet, physicalactivity and health. Geneva: WHO; 2004 Contract No.: Document Number|.
10. Sallis JF, Cerin E, Conway TL, Adams MA, Frank LD, Pratt M, et al. Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study. Lancet. 2016 May 28;387(10034):2207-17.
11. Ding D, Gebel K. Built environment, physical activity, and obesity: what have we learned from reviewing the literature? Health Place. 2012 Jan;18(1):100-5.
12. INPES. Évaluation de la signalétique pietonne de l'INPES; 2011 Contract No.: Document Number|.
13. Deci EL, Ryan RM. Handbook of self-determination research. University Rochester Press; 2002.
14. Hagger MS, Chatzisarantis NL. Intrinsic motivation and self-determination in exercise and sport. In: Hagger MS, Chatzisarantis NL, editors. Champaign: Human Kinetics; 2007.
15. Ryan RM, Connell JP. Perceived locus of causality and internalization: examining reasons for acting in two domains. Journal of personality and social psychology. 1989 Nov;57(5):749-61.
16. Pelletier LG, Fortier MS, Vallerand RJ, Tuson KM, Briere NM, Blais MR. Toward a new measure of intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation in sports: The

Sport Motivation Scale (SMS). Journal of sport and Exercise Psychology. 1995;17:35-.
17. European Society of Cardiology. HeartScore. [cited]; The interactive tool for predicting and managing the risk of heart attack and stroke in Europe]. Available from: https://escol.escardio.org/Heartscore/Login.aspx?ReturnUrl=%2fHeartscore%2fdefault.aspx%3fmodel%3dfrance&model=france.
18. Conroy RM, Pyorala K, Fitzgerald AP, Sans S, Menotti A, De Backer G, et al. Estimation of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: the SCORE project. Eur Heart J. 2003 Jun;24(11):987-1003.
19. McGrath LJ, Hopkins WG, Hinckson EA. Associations of objectively measured built-environment attributes with youth moderate-vigorous physical activity: a systematic review and meta-analysis. Sports medicine. 2015 Jun;45(6):841-65.
20. Ding D, Sallis JF, Kerr J, Lee S, Rosenberg DE. Neighborhood environment and physical activity among youth: a review. American journal of preventive medicine. 2011;41(4):442-55.
21. Centers for Disease Control and Prevention. Strategies to Prevent Obesity and Other Chronic Diseases: The CDC Guide to Strategies to Increase Physical Activity in the Community.Atlanta. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services; 2011 Contract No.: Document Number|.
22. Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ, Clemes SA, De Cocker K, Giles-Corti B, et al. How many steps/day are enough? For adults. Int J Behav Nutr Phys Act. 2011 Jul 28;8:79.
23. Assureurs Prévention. 2ème Enquête Nationale. Pratique De L'Activité Physique ou Sportive. Comment Faire Bouger Les Français?; 2013 12/09/2013 Contract No.: Document Number|.
24. Maffei A. Un pas vers la santé. Résultats de l'enquête. Grenoble: Direction santé publique et environnementale; 2012 Contract No.: Document Number|.
25. Starnes HA, Troped PJ, Klenosky DB, Doehring AM. Trails and physical activity: a review. Journal of Physical Activity and Health. 2011;8(8):1160.

## Tables

| | CG (n = 20) | | PSG (n = 22) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Pre** | **Post** | **Pre** | **Post** | |
| **Anthropometric characteristics** | | | | | |
| **Age** years | 63.9 ± 10.2 | 64.9 ± 10.2 | 60.6 ± 10.3 | 61.6 ± 10.3 | F(1,80)=0.00; p=1.00 |
| **Height** cm | 167.4 ± 8.2 | 167.4 ± 8.2 | 165.1 ± 7.4 | 165.1 ± 7.4 | F(1,80)=0.00; p=1.00 |
| **Weight** kg | 67.2 ± 11.6 | 67.5 ± 11.6 | 66.3 ± 15.5 | 67.2 ± 16.3 | F(1,80)=0.01; p=0.94 |
| **BMI** $kg.m^{-2}$ | 23.8 ± 2.4 | 24.0 ± 2.4 | 24.3 ± 5.1 | 24.6 ± 5.5 | F(1,80)=0.01; p=0.93 |
| **Waist circ.** cm | 84.1 ± 11.2 | 83.4 ± 12.2 | 83.3 ± 14.4 | 83.3 ± 15.7 | F(1,80)=0.01; p=0.91 |
| **Hip circ.** cm | 90.9 ± 7.2 | 89.5 ± 7.5 | 91.1 ± 12.8 | 90.5 ± 12.8 | F(1,80)=0.04; p=0.85 |
| **Waist to hip ratio** | 0.92 ± 0.08 | 0.93 ± 0.08 | 0.91 ± 0.08 | 0.92 ± 0.09 | F(1,80)=0.05; p=0.95 |
| **Cardiovascular risk** | | | | | |
| **SBP** mmHg | 128.9 ± 20.5 | 128.8 ± 17.4 | 116.3 ± 15.9 | 119.7 ± 14.3 | F(1,80)=0.22; p=0.64 |
| **DBP** mmHg | 78.8 ± 12.0 | 80.7 ± 9.9 | 76.1 ± 11.1 | 76.9 ± 7.3 | F(1,80)=0.07; p=0.93 |
| **TC** $g.L^{-1}$ | 2.3 ± 0.4 | 2.3 ± 0.3 | 2.1 ± 0.3 | 2.1 ± 0.4 | F(1,80)=0.42; p=0.52 |
| **HDL-C** $g.L^{-1}$ | 0.6 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | F(1,80)=0.00; p=0.99 |
| **LDL-C** $g.L^{-1}$ | 1.5 ± 0.4 | 1.4 ± 0.3 | 1.2 ± 0.3 | 1.2 ± 0.4 | F(1,80)=0.37; p=0.55 |
| **TG** $g.L^{-1}$ | 1.1 ± 0.4 | 1.1 ± 0.6 | 1.0 ± 0.5 | 1.0 ± 0.5 | F(1,80)=0.00; p=0.97 |
| **Glycaemia** $g.L^{-1}$ | 1.0 ± 0.1 | 1.0 ± 0.2 | 1.0 ± 0.2 | 1.0 ± 0.2 | F(1,80)=0.41; p=0.53 |
| **Cardiovascular risk SCORE** % | 2.1 ± 1.4 | 2.3 ± 1.9 | 1.4 ± 1.1 | 1.6 ± 1.3 | F(1,80)=0.00; p=0.97 |
| **Motivation** | | | | | |
| **Autonomous** | 6.0±0.8 | 6.1±0.8 | 6.2±1.0 | 6.2±0.7 | F(2, 114)=0.13; p=0.88 |
| **Controlled** | 3.6±1.7 | 3.8±1.5 | 3.8±1.3 | 3.8±1.5 | F(2, 114)=0.36; p=0.70 |
| **A motivation** | 1.7±1.2 | 1.5±0.9 | 1.5±1.2 | 1.3±0.7 | F(2, 114)=0.77; p=0.93 |

Table 1. Anthropometric characteristics, indicators of cardiovascular health and motivation. BMI, Body Mass Index; CG, Control Group; DBP, Diastolic Blood Pressure; HDL-C, HDL-Cholesterol; Hip circ., Hip circumference; LDL-C, LDL-Cholesterol; n, number of participants; PSG, Pedestrian Signage Group; SBP, Systolic Blood Pressure; TC, Total Cholesterol; TG, Triglycerides; Waist circ., Waist circumference.

| | CG (n = 7) | | PSG (n = 8) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Week** | **Weekend** | **Week** | **Weekend** | **Week** | **Weekend** |
| **Measure 1** steps/day | 7628 ± 2657 | 6743 ± 3134 | 6818 ± 3350 | 6282 ± 2179 | p=0.25 | p=0.47 |
| | **CG** (n = 20) | | **PSG** (n = 22) | | | |
| | **Week** | **Weekend** | **Week** | **Weekend** | **Week** | **Weekend** |
| **Measure 2** steps/day | 8547 ± 5435 | 7962 ± 5057 | 7166 ± 4832 | 7341 ± 4207 | | |
| **Measure 3** steps/day | 7759 ± 5607 | 6311 ± 4278 | 7332 ± 5448 | 7177 ± 5596 | F(3,160) =0.15; p=0.93 | F(3,160) =0.15; p=0.93 |
| **Measure 4** steps/day | 7391 ± 4624 | 6533 ± 5172 | 6645 ± 5928 | 6862 ± 4265 | | |
| **Measure 5** steps/day | 8129 ± 5092 | 7831 ± 5790 | 7367 ± 5675 | 6286 ± 4788 | | |

Table 2. PA level measured by pedometry.
CG, Control Group; n, number of participants; PSG, Pedestrian Signage Group.

## Figures

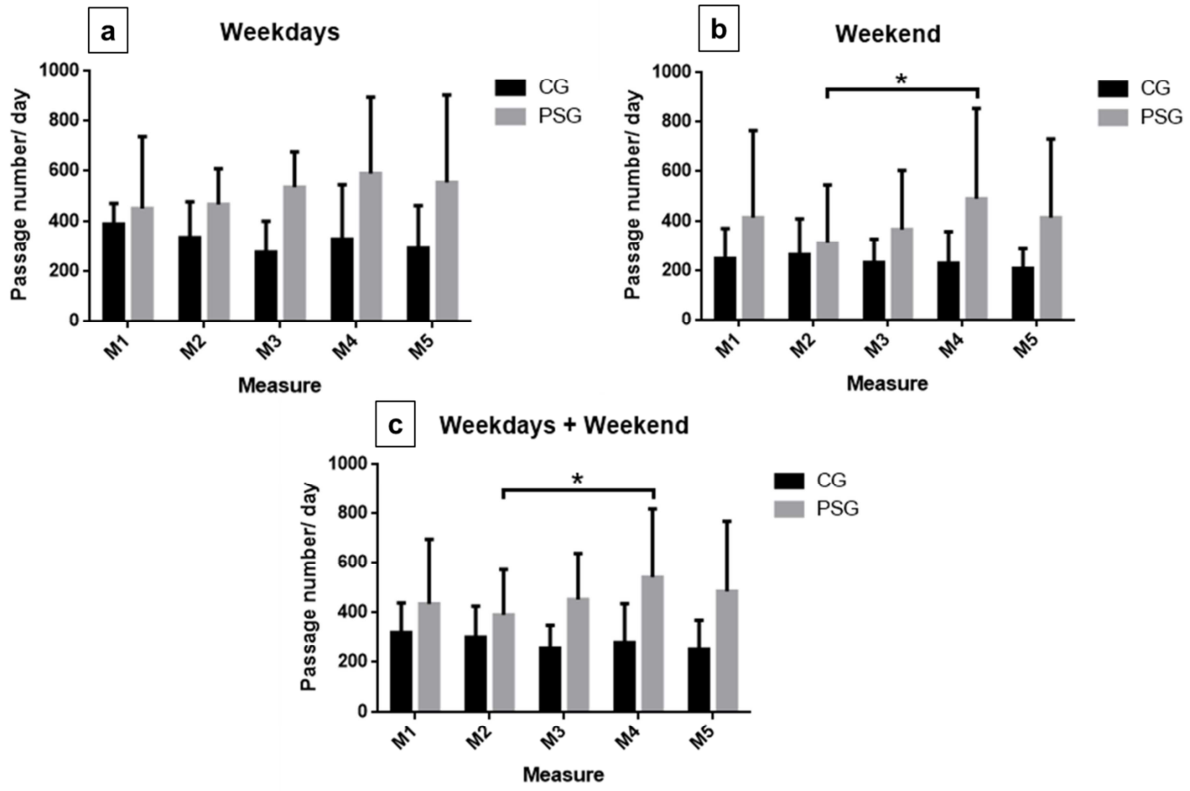



Figure 1. Mean frequentation in PSN and CN between 2 crossroads on week day (a) and on week end day (b) and mean frequentation of week days and weekend days (c): * $p < 0.05$ between M2 and M4 for PSN.

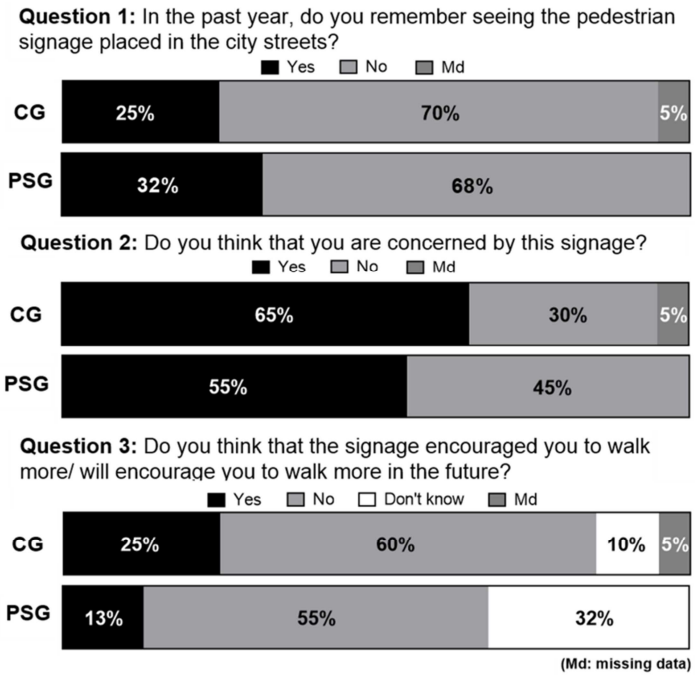



Figure 2. Results of pedestrian signage questionnaire.

Annexe B

# Guide Post Prise en Charge Protocole « HYPINT » (groupe EIMC)

Vous venez de terminer votre programme d'entraînements de 24 séances sur cycloergomètre au sein du CHU Sud avec l'équipe de recherche clinique. Maintenant que nous avons parcouru avec vous ce petit bout de chemin, vous avez désormais toutes les clés pour continuer en autonomie avant de vous retrouver dans 4 mois et faire un nouveau bilan.
Par ce document, nous vous donnerons quelques conseils pour vous guider et pouvoir continuer de faire de l'activité physique (AP) seul(e) tout en continuant de se faire plaisir.

## Mettre en place, doser et varier ses activités

Afin de profiter pleinement des bienfaits de l'activité physique, l'idéal est de **combiner/alterner différents types d'activités physiques** dans le but de solliciter tous vos membres. Par exemple, si vous aimez la marche, ajoutez-y les bâtons pour solliciter également les bras. Ou bien, autre exemple, une séance de vélo peut être remplacée par du vélo elliptique ou combinée avec une activité sollicitant les membres supérieurs (renforcement musculaire, jeux de raquettes, etc.). Attention, l'activité physique ne veut pas forcément dire « sport ». Une activité physique est définie comme « tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense énergétique au-dessus du métabolisme de repos » (Caspersen et al., 1985). Ainsi, il vous suffit de bouger, faire une activité physique de loisir, ou faire des tâches ménagères, du jardinage, du bricolage, prendre les escaliers, vous déplacer à pieds plutôt qu'en voiture, etc., pour satisfaire à ces recommandations.

« Il n'est pas impératif de se rendre dans une salle de sport, à la piscine ou dans d'autres installations sportives spécialisées pour pratiquer un exercice physique. […] La marche est peut-être l'exercice physique le plus pratiqué et le plus fortement recommandé et c'est tout à fait gratuit. » (Organisation Mondiale de la Santé, Quelques idées reçues concernant l'exercice physique, [www.who.int]).
La marche est un excellent exercice et une des activités les mieux adaptées pour le corps. Simple à pratiquer, elle est à la portée de presque tous et ne nécessite que des vêtements confortables et de bonnes chaussures. On peut pratiquer la marche partout, en ville, en

banlieue, à la campagne, à l'extérieur lorsque les conditions climatiques le permettent, ou à l'intérieur, par exemple au centre commercial. Délaissez la voiture pour les courts déplacements, moins de un ou deux kilomètres est une autre manière très simple d'intégrer la marche dans sa vie. C'est économique, à la portée de tous et de plus, c'est écologique ! En ville, pour les plus grandes distances, le recours aux transports en commun permet également de marcher davantage. Un autre bon moyen d'intégrer la marche à ses habitudes de vie, c'est de faire partie d'un club de marche et de pratiquer la marche en groupe.
Le vélo est également un très bon exemple et un très bon moyen de transport dans une ville comme Grenoble.

**L'idéal** est de **répartir ses activités physiques** tout au long de la semaine, **de façon à en pratiquer quotidiennement à raison d'au moins 30 minutes par jour**. Cependant, il est **possible de diviser ce temps en plusieurs périodes** plus courtes et plus faciles à intégrer à son quotidien. On peut, par exemple, décider de s'activer à trois reprises au cours de la journée, à raison d'au moins 10 minutes à chaque fois.

## Le choix de l'activité physique

Le choix de l'activité physique doit être **basé sur 2 critères essentiels : vos goûts et votre mode de vie**, c'est-à-dire :

- Vos goûts : dans le domaine de l'activité physique, les études sur la persévérance sont formelles : **le plaisir doit être le premier critère** de sélection. Or, pour trouver plaisante une activité, il faut avoir le goût de la pratiquer. A vous de jouer !
- Votre mode de vie : **l'activité physique doit être compatible avec votre mode de vie** : votre emploi du temps, les horaires, le lieu de la pratique, le coût financier de l'activité… Les bienfaits que procure l'activité physique pratiquée de façon assidue sont conséquents. Mais en cette époque où l'on vit à 100 kilomètres à l'heure, où l'on a un emploi parfois très accaparant et où l'on nous demande d'être performant(e) en tout temps, chacun(e) peut perdre de vue son importance, ou simplement baisser les bras. Une bonne façon d'augmenter sa pratique de l'activité physique malgré un emploi du temps chargé? L'intégrer le plus possible à sa routine quotidienne. Emprunter les escaliers plutôt que l'ascenseur, ne pas utiliser sa voiture ou la stationner moins près de sa destination, faire une marche après les repas pour mieux digérer, etc., sont autant de gestes simples qui

peuvent réellement contribuer à augmenter le niveau d'activité dans une journée et ainsi à améliorer son état de bien-être et sa santé. Il n'est jamais trop tard pour commencer à intégrer l'activité physique dans sa vie !

## La modalité de pratique et le niveau d'intensité approprié

Lors de votre prise en charge au sein du CHU Sud, vous avez fait partie d'un groupe d'entraînement **« modéré continu »**. Cette méthode consiste en un exercice d'intensité modérée (50% de sa puissance maximale) constant et continu.

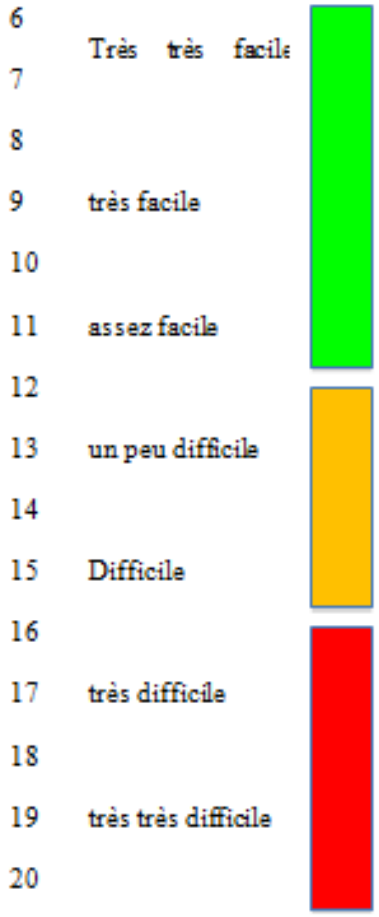
Par conséquent, nous vous conseillons de **continuer sur cette même modalité d'entraînement**. Effectivement, vous pouvez adopter cette méthode à tout autre activité, comme par exemple avec la marche, la marche nordique, le footing, le vélo, le vélo elliptique, le rameur, etc. **Nos conseils :**

- **Équipez-vous d'un podomètre** pour la marche pour apprécier les distances et vos progrès. Vous pouvez également avoir certaines **applications gratuites** sur smartphone, comme par exemple **« runtastic »** où vous sélectionnez le type d'activité, puis elle vous permet de voir l'essentiel avec la distance, votre parcours, le temps, le rythme.
- Equipez-vous également **d'un cardio-fréquencemètre** pour avoir une bonne intensité d'exercice.
- **Établissez un programme** d'entraînement **et réfléchissez à l'avance à vos lieux de promenade**.
- Pour la motivation et la persévérance, **l'idéal est de pratiquer à plusieurs** : en couple, entre copains ou entre copines, entre voisins, et sinon, inscrivez-vous dans un club de marche par exemple.

Vous pouvez continuer sur les mêmes bases, en faisant environ 45 minutes de marche/footing/pédalage à intensité modérée.

**Pour savoir si vous êtes dans la bonne intensité d'exercice**, il existe différents moyens très simples. Premièrement, **l'échelle de « l'intensité d'effort perçu »** que nous nous servions en séance. Pour rappel, la voici :

**Perception de l'intensité de l'effort:** COMMENT EST L'EXERCICE ?




Vous devez vous situer **idéalement entre 11 et 14**. En effet, pour un exercice de faible intensité (échauffement, récupération, etc.) nous sommes entre 6 et 10. Pour un effort intense, nous serions plutôt entre 12 et 16. Vous pouvez **vous baser sur vos sensations subjectives** (chaleur, transpiration, essoufflement, difficulté musculaire) pour coter cette échelle.

**Attention !** Le plus important reste toujours le fait d'être à l'écoute de son corps et de ses sensations. Basez-vous aussi sur vos ressentis lors des séances.

Deuxièmement, le **contrôle de l'essoufflement**. Effectivement, il est très simple de pouvoir se situer par rapport à son niveau d'essoufflement. Il existe 4 stades de « dyspnée » :

- Stade 0 : je peux tenir une conversation normale
- Stade 1 : je réponds par quelques mots, ou quelques phrases entrecoupées
- Stade 2 : je ne réponds plus que par oui ou par non (1 mot)
- Stade 3 : je ne peux plus parler

Comme vous l'aurez compris, pour une intensité faible, on va être au stade 0. A intensité modérée, nous serons plutôt sur un stade 1 et puis pour un effort intense, nous serons sur les stades 2 ou 3. Ainsi, lors de votre exercice, vous devez vous situer sur le stade 1.

Troisièmement, la **fréquence cardiaque**. Nous pouvons contrôler la fréquence cardiaque de manière simple (cardio-fréquencemètre ou prise de pouls) afin de voir si nous sommes sur un rythme idéal. La fourchette de fréquence dans laquelle il est optimal de s'entrainer varie beaucoup d'une personne à l'autre, car elle dépend de plusieurs facteurs : condition physique, âge, médication, niveau de fatigue, état de santé.

Nous pouvons tout de même définir la fréquence cardiaque théorique de la manière suivante :

- Pour les personnes dont âge < 40 ans : FCmax = 220 – âge
- Pour les personnes dont âge > 40 ans : FCmax= 210 - 0,65* âge

Ainsi, pour déterminer la fréquence cardiaque cible à l'effort, on multiplie sa fréquence cardiaque maximale (théorique si elle n'est pas connue) par un pourcentage selon l'intensité d'exercice. Pour un exercice modéré, nous serons plutôt **entre 60 et 80% de FC max** alors que pour un exercice intense, nous serons plutôt aux alentours de 90% et plus. Attention, si vous ne connaissez pas votre fréquence cardiaque maximale, vous pouvez donc la calculer mais cela reste théorique. Comme nous l'avons précisé, cela varie beaucoup d'une personne à l'autre.

Ensuite, pendant l'effort**, on regarde sa montre du cardio-fréquencemètre ou bien, on prend son pouls au niveau du cou (carotide) ou de l'avant-bras (radial)** pendant 10 secondes et on le multiplie par 6 pour connaître sa fréquence cardiaque durant l'activité choisie. On peut alors la comparer à sa fréquence cardiaque cible pour savoir si l'intensité de l'activité est appropriée.

Exemple pour une personne de 55 ans

La fréquence cardiaque maximale théorique est de 210 – 0.65*55 ≈ 174 battements par minute, soit 29 battements par 10 secondes. 60 % de 174 ≈ 104 battements par minute, soit 17 battements par 10 secondes ; 80 % de 174 ≈ 139 battements par minute, soit 23 battements par 10 secondes ; 90 % de 174 ≈ 156 battements par minute, soit 26 battements par 10 secondes.

**Notez bien** : Quelles que soient les fréquences cardiaques cibles calculées, il demeure essentiel de rester attentif aux sensations éprouvées !

## Lors d'une séance

1. **Commencer l'activité par une période d'échauffement** de cinq à dix minutes pour préparer le corps et les muscles à l'effort, et ainsi réduire les risques de blessures.
2. **S'assurer que le niveau d'intensité** de l'activité pratiquée **est adéquat**.
3. **Terminer l'activité par une période de retour au calme** : marcher un peu pour ralentir son activité métabolique, faire quelques étirements et se relaxer cinq à dix minutes afin de permettre aux muscles de se détendre, de conserver/développer leur souplesse.

## Autres suggestions

Afin d'intégrer plus facilement une activité physique dans votre routine de vie :

1. Levez-vous dix minutes plus tôt afin de commencer la journée par une activité physique à l'intérieur ou à l'extérieur, comme une série d'étirements dès le saut du lit, la promenade quotidienne du chien (même si vous n'en avez pas), etc.
2. Modifiez certaines activités dans votre quotidien sans en ajouter nécessairement. Par exemple, marcher pour vous rendre au travail au lieu de prendre la voiture, descendre de l'autobus deux ou trois arrêts avant la destination, monter les escaliers au lieu de prendre l'ascenseur, prendre quinze minutes durant votre heure de repas pour aller marcher.
3. Demandez à un(e) ami(e) de se joindre à vous dans votre démarche. Cela peut vous aider à rester fidèle à la pratique de votre activité.

Changer une habitude ou en adopter une nouvelle n'est pas nécessairement une tâche difficile. Toutefois, il peut être plus ardu de tenter d'être plus actif(ve) sans tenir compte de sa réalité, de ses besoins et de ses limites. Mieux comprendre ce qui nous motive ou, au contraire, nous décourage dans nos tentatives de changement peut s'avérer très éclairant. Ce questionnaire vous permettra de bien identifier vos motivations, vos besoins et vos difficultés.

Ingrédients de base :

- Connaissance de soi : Que représente pour moi l'activité physique ? Un plaisir, une détente, un bien-être, une rencontre, un devoir, un effort, une discipline, une source de culpabilité ?
- Plaisir : Est-ce que certaines activités physiques me procurent du plaisir ? Si oui, lesquelles et pourquoi ? Si non, pourquoi ?

Réalisme, respect de sa réalité, de ses besoins et de ses limites : Quels sont les éléments qui peuvent m'aider ou me nuire dans mes tentatives pour être plus active ? Qu'est-ce que je retiens de mes expériences passées ? Quelles sont mes forces et mes limites ? Est-ce que j'ai des limites physiques qui réduisent ma qualité de vie actuellement ?

Mon but, ce qui compte pour moi : _____

L'activité que j'aimerais pratiquer :

activité : _____

quand : _____

endroit : _____

s'il y a lieu, avec qui : _____

Élément(s) pouvant m'aider à soutenir ma motivation :

_____

_____

_____

S'il y a lieu, ma principale difficulté et le moyen concret d'y remédier :

_____

_____

_____

**A vous de jouer !**

Annexe C

# Guide Post Prise en Charge Protocole « HYPINT » (groupe EII et EII+SA)

Vous venez de terminer votre programme d'entraînements de 24 séances sur cycloergomètre au sein du CHU Sud avec l'équipe de recherche clinique. Maintenant que nous avons parcouru ensemble ce petit bout de chemin, vous avez désormais toutes les clés pour continuer en autonomie avant de vous retrouver dans 4 mois et faire un nouveau bilan.
Par ce document, nous vous donnerons quelques conseils pour vous guider et pouvoir continuer de faire de l'activité physique seul(e) tout en continuant de se faire plaisir.

## Mettre en place, doser et varier ses activités

Afin de profiter pleinement des bienfaits de l'activité physique, l'idéal est de **combiner/alterner différents types d'activités physiques** dans le but de solliciter tous vos membres. Par exemple, si vous aimez la marche, ajoutez-y les bâtons pour solliciter également les bras. Ou bien, autre exemple, une séance de vélo peut être remplacée par du vélo elliptique ou combinée avec une activité sollicitant les membres supérieurs (renforcement musculaire, jeux de raquettes, etc.). Attention, l'activité physique ne veut pas forcément dire « sport ». Une activité physique est définie comme « tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense énergétique au-dessus du métabolisme de repos » (Caspersen et al., 1985). Ainsi, il vous suffit de bouger, faire une activité physique de loisirs, ou faire des tâches ménagères, du jardinage, du bricolage, prendre les escaliers, vous déplacer à pieds plutôt qu'en voiture, etc., pour satisfaire à ces recommandations.

« Il n'est pas impératif de se rendre dans une salle de sport, à la piscine ou dans d'autres installations sportives spécialisées pour pratiquer un exercice physique. […] La marche est peut-être l'exercice physique le plus pratiqué et le plus fortement recommandé et c'est tout à fait gratuit. » (Organisation Mondiale de la Santé, Quelques idées reçues concernant l'exercice physique, [www.who.int]).
La marche est donc un excellent exercice et une des activités les mieux adaptées pour le corps. Simple à pratiquer, elle est à la portée de tous et ne nécessite que des vêtements confortables et de bonnes chaussures. On peut pratiquer la marche partout, en ville, en

banlieue, à la campagne, à l'extérieur lorsque les conditions climatiques le permettent, ou à l'intérieur, par exemple au centre commercial. Délaisser la voiture pour les courts déplacements, moins de un ou deux kilomètres, est une autre manière très simple d'intégrer la marche dans sa vie. C'est économique, à la portée de tous et de plus, c'est écologique ! En ville, pour les plus grandes distances, le recours aux transports en commun permet également de marcher davantage. Un autre bon moyen d'intégrer la marche à ses habitudes de vie, c'est de faire partie d'un club de marche et de la pratiquer en groupe.
Le vélo est également un très bon exemple et un très bon moyen de transport dans une ville comme Grenoble.

**L'idéal** est de **répartir ses activités physiques** tout au long de la semaine, **de façon à en pratiquer quotidiennement à raison d'au moins 30 minutes par jour**. Cependant, il est **possible de diviser ce temps en plusieurs périodes** plus courtes et plus faciles à intégrer à son quotidien. On peut, par exemple, décider de s'activer à trois reprises au cours de la journée, à raison d'au moins 10 minutes à chaque fois.

## Le choix de l'activité physique

Le choix de l'activité physique doit être **basé sur 2 critères essentiels : vos goûts et votre mode de vie**, c'est-à-dire :

- Vos goûts : dans le domaine de l'activité physique, les études sur la persévérance sont formelles : **le plaisir doit être le premier critère** de sélection. Or, pour trouver plaisante une activité, il faut avoir le goût de la pratiquer. A vous de jouer !
- Votre mode de vie : **l'activité physique doit être compatible avec votre mode de vie** : votre emploi du temps, les horaires, le lieu de la pratique, le coût financier de l'activité… Les bienfaits que procure l'activité physique pratiquée de façon assidue sont conséquents. Mais en cette époque « on vit à 100 kilomètres à l'heure », on a un emploi parfois très prenant et on nous demande d'être performant(e) en tout temps, alors chacun(e) peut perdre de vue son importance, ou simplement baisser les bras. Par conséquent, y a-t-il une bonne façon d'augmenter sa pratique de l'activité physique malgré un emploi du temps chargé ? Oui, l'intégrer le plus possible à sa routine quotidienne. Emprunter les escaliers plutôt que l'ascenseur, ne pas utiliser sa voiture ou la stationner moins près de sa destination, faire une marche après les repas pour mieux digérer, etc., sont autant de gestes

simples qui peuvent réellement contribuer à augmenter le niveau d'activité dans une journée et ainsi à améliorer son état de bien-être et sa santé. Il n'est jamais trop tard pour commencer à intégrer l'activité physique dans sa vie !

## La modalité de pratique et le niveau d'intensité approprié

Lors de votre prise en charge au sein du CHU Sud, vous avez fait partie d'un groupe d'entraînement **« intermittent intense »**. Cette méthode consiste à alterner des périodes d'activité physique assez intense – par exemple sprint de 10 secondes à 1 minute, ou marche rapide de 1 à 3 minutes– avec des périodes de repos (arrêt ou marche lente). Nous, nous avons terminé le protocole avec des périodes de 1 minute de pédalage intense à votre puissance maximale, et une minute de repos, répété 22 fois.

Par conséquent, nous vous conseillons de **continuer sur cette même modalité d'entraînement**. Effectivement, vous pouvez adopter cette méthode à tout autre activité, comme par exemple avec la marche, la marche nordique, le footing, le vélo, le vélo elliptique, le rameur, etc.

**Nos conseils :**

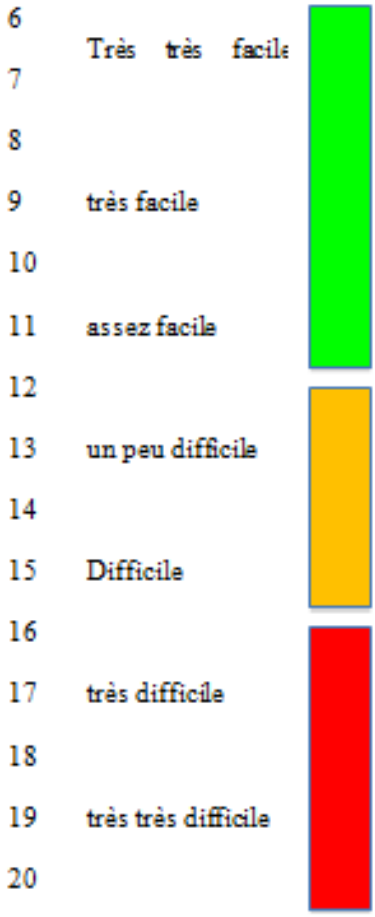
- **Équipez-vous d'un podomètre** pour la marche pour apprécier les distances et vos progrès. Vous pouvez également avoir certaines **applications gratuites** sur smartphone, comme par exemple **« runtastic »** où vous sélectionnez le type d'activité, puis elle vous permet de voir l'essentiel avec la distance, votre parcours, le temps, le rythme.
- Equipez-vous également **d'un cardio-fréquencemètre** pour avoir une bonne intensité d'exercice.
- **Établissez un programme** d'entraînement **et réfléchissez à l'avance à vos lieux de promenade**.
- Pour la motivation et la persévérance, **l'idéal est de pratiquer à plusieurs** : en couple, entre copains ou entre copines, entre voisins, et sinon, inscrivez-vous dans un club de marche par exemple.

Vous pouvez continuer sur les mêmes bases, en faisant une minute de marche/footing/pédalage intense et une minute de repos actif (marche lente par exemple) ou passif (arrêt total) à raison de 22 fois par séance.

**Pour savoir si vous êtes dans la bonne intensité d'exercice**, il existe différents moyens très simples.

Premièrement, **l'échelle de « l'intensité d'effort perçu »** que nous nous servions en séance. Pour rappel, la voici :

**Perception de l'intensité de l'effort:** COMMENT EST L'EXERCICE ?




Pour les périodes d'effort intense, vous devez vous situer **idéalement entre 12 et 16**. En effet, pour un exercice de faible intensité (échauffement, récupération, etc.) nous sommes entre 6 et 10. Pour un effort d'intensité modérée, nous serions plutôt entre 11 et 14. Vous pouvez **vous baser sur vos sensations subjectives** (chaleur, transpiration, essoufflement, difficulté musculaire) pour coter cette échelle.

**Attention !** Le plus important reste toujours le fait d'être à l'écoute de son corps et de ses sensations. Basez-vous aussi sur vos ressentis lors des séances.

Deuxièmement, le **contrôle de l'essoufflement**. Effectivement, il est très simple de pouvoir se situer par rapport à son niveau d'essoufflement. Il existe 4 stades de « dyspnée » :

- Stade 0 : je peux tenir une conversation normale
- Stade 1 : je réponds par quelques mots, ou quelques phrases entrecoupées
- Stade 2 : je ne réponds plus que par oui ou par non (1 mot)
- Stade 3 : je ne peux plus parler

Comme vous l'aurez compris, pour une intensité faible, on va être au stade 0. A intensité modérée, nous serons plutôt sur un stade 1 et puis pour un effort intense, nous serons sur les stades 2 ou 3. Ainsi, **lors de vos phases d'exercices intenses**, vous devez être sur un **stade 2 ou 3** et lors des **périodes de récupération**, **redescendre sur un stade 1 voir même 0**.

Troisièmement, la **fréquence cardiaque**. Nous pouvons contrôler la fréquence cardiaque de manière simple (cardio-fréquencemètre ou prise de pouls) afin de voir si nous sommes sur un rythme idéal. La fourchette de fréquence dans laquelle il est optimal de s'entrainer, varie beaucoup d'une personne à l'autre, car elle dépend de plusieurs facteurs : condition physique, âge, médication, niveau de fatigue, état de santé.

Nous pouvons tout de même définir la fréquence cardiaque théorique de la manière suivante :

- Pour les personnes dont âge < 40 ans : FCmax = 220 – âge
- Pour les personnes dont âge > 40 ans : FCmax= 210 - 0,65* âge

Ainsi, pour déterminer la fréquence cardiaque cible à l'effort, on multiplie sa fréquence cardiaque maximale (théorique si elle n'est pas connue) par un pourcentage selon l'intensité d'exercice. Pour un exercice modéré, nous serons plutôt entre 60 et 80% de FC max alors que pour un exercice intense, nous serons plutôt **aux alentours de 90% et plus**. Attention, si vous ne connaissez pas votre fréquence cardiaque maximale, vous pouvez donc la calculer mais cela reste théorique. Comme nous l'avons précisé, cela varie beaucoup d'une personne à l'autre.

Ensuite, pendant l'effort**, on regarde sa montre du cardio-fréquencemètre ou bien, on prend son pouls au niveau du cou (carotide) ou de l'avant-bras (radial)** pendant 10 secondes et on le multiplie par 6 pour connaître sa fréquence cardiaque durant l'activité choisie. On peut alors la comparer à sa fréquence cardiaque cible pour savoir si l'intensité de l'activité est appropriée.

Exemple pour une personne de 55 ans

La fréquence cardiaque maximale théorique est de 210 – 0.65*55 ≈ 174 battements par minute, soit 29 battements par 10 secondes. 60 % de 174 ≈ 104 battements par minute, soit 17 battements par 10 secondes ; 80 % de 174 ≈ 139 battements par minute, soit 23 battements

par 10 secondes ; 90 % de 174 ≈ 156 battements par minute, soit 26 battements par 10 secondes.

**Notez bien** : Quelles que soient les fréquences cardiaques cibles calculées, il demeure essentiel de rester attentif aux sensations éprouvées !

## Lors d'une séance

1. **Commencer l'activité par une période d'échauffement** de cinq à dix minutes pour préparer le corps et les muscles à l'effort, et ainsi réduire les risques de blessures.
2. **S'assurer que le niveau d'intensité** de l'activité pratiquée **est adéquat**.
3. **Terminer l'activité par une période de retour au calme** : marcher un peu pour ralentir son activité métabolique, faire quelques étirements et se relaxer cinq à dix minutes afin de permettre aux muscles de se détendre, de conserver/développer leur souplesse.

## Autres suggestions

Afin d'intégrer plus facilement une activité physique dans votre routine de vie :

1. Levez-vous dix minutes plus tôt afin de commencer la journée par une activité physique à l'intérieur ou à l'extérieur, comme une série d'étirements dès le saut du lit, la promenade quotidienne du chien (même si vous n'en avez pas), etc.
2. Modifiez certaines activités dans votre quotidien sans en ajouter nécessairement. Par exemple, marcher pour vous rendre au travail au lieu de prendre la voiture, descendre de l'autobus deux ou trois arrêts avant la destination, monter les escaliers au lieu de prendre l'ascenseur, prendre quinze minutes durant votre heure de repas pour aller marcher.
3. Demandez à un(e) ami(e) de se joindre à vous dans votre démarche. Cela peut vous aider à rester fidèle à la pratique de votre activité.

Changer une habitude ou en adopter une nouvelle n'est pas nécessairement une tâche difficile. Toutefois, il peut être plus ardu de tenter d'être plus actif(ve) sans tenir compte de sa réalité, de ses besoins et de ses limites. Mieux comprendre ce qui nous motive ou, au contraire, nous décourage dans nos tentatives de changement peut s'avérer très éclairant. Ce questionnaire vous permettra de bien identifier vos motivations, vos besoins et vos difficultés.

Ingrédients de base :

- Connaissance de soi : Que représente pour moi l'activité physique ? Un plaisir, une détente, un bien-être, une rencontre, un devoir, un effort, une discipline, une source de culpabilité ?
- Plaisir : Est-ce que certaines activités physiques me procurent du plaisir ? Si oui, lesquelles et pourquoi ? Si non, pourquoi ?

Réalisme, respect de sa réalité, de ses besoins et de ses limites : Quels sont les éléments qui peuvent m'aider ou me nuire dans mes tentatives pour être plus actif(ve) ? Qu'est-ce que je retiens de mes expériences passées ? Quelles sont mes forces et mes limites ? Est-ce que j'ai des limites physiques qui réduisent ma qualité de vie actuellement ?

Mon but, ce qui compte pour moi : _____

L'activité que j'aimerais pratiquer :

activité : _____

quand : _____

endroit : _____

s'il y a lieu, avec qui : _____

Élément(s) pouvant m'aider à soutenir ma motivation :

_____

_____

S'il y a lieu, ma principale difficulté et le moyen concret d'y remédier :

_____

_____

**A vous de jouer !**