

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LES EFFETS DE L'INTENSITÉ D'EXERCICES CARDIOVASCULAIRES AIGUS  
SUR LE CONTRÔLE EXÉCUTIF DE JEUNES ADULTES ET D'AINÉS.

THÈSE PRÉSENTÉE  
AU DÉPARTEMENT DE PSYCHOLOGIE  
EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE  
PHILOSOPHIAE DOCTOR (PH. D.)

PAR

VÉRONIQUE LABELLE M.Ps.

NOVEMBRE 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

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

## REMERCIEMENTS

Compléter un doctorat va bien au-delà de la réalisation d'un projet de recherche, d'un cursus académique ou bien de stages cliniques. C'est avant tout un processus pendant lequel nous sommes constamment exposés à des défis, techniques et humains, qui nous poussent au-delà de nos limites, enfin ce que nous croyons nos limites. Il s'agit aussi d'un parcours rempli de moments merveilleux, de belles rencontres, de discussions enrichissantes et de fous rires!

Compte tenu de sa dimension multidisciplinaire, cette thèse est le fruit d'un travail d'équipe extraordinaire. Je tiens d'abord à remercier chaleureusement mon directeur de thèse, Louis Bherer, de m'avoir fait confiance il y a 6 ans et de m'avoir autant poussée au cours de ces dernières années. Tu as été un excellent mentor; conciliant, à l'écoute et extrêmement généreux de tes connaissances et de ton temps. J'ai le sentiment d'avoir pu bénéficier d'une formation scientifique hors pair à tes côtés et je t'en remercie.

Je tiens également à remercier un collaborateur important de cette thèse, le professeur Laurent Bosquet. Tes conseils en matière de physiologie de l'exercice m'ont été extrêmement précieux. Avoir eu l'occasion de travailler avec toi fut un privilège. Malgré tes nombreuses occupations, tu as toujours pris le temps de répondre à mes interrogations et de me guider dans mes réflexions scientifiques. Merci!

Ce projet de recherche n'aurait pu être possible sans la précieuse contribution de Dr T.T. Minh Vu, gériatre, de Dr Mark Smilovitch, cardiologue et de Saïd Mekary, kinésologue. Malgré des horaires particulièrement chargés, vous avez toujours trouvé des moments pour contribuer, chacun à votre façon, au bon déroulement de l'évaluation de chacun des participants.

Un doctorat en psychologie, c'est aussi l'apprentissage, mais surtout la mise en application de connaissances cliniques. À tous mes superviseurs cliniques, Isabelle Rouleau, Peter Scherzer, Anne Décary et Annie Malenfant, je tiens à vous témoigner toute ma gratitude pour ces belles années en votre compagnie. Vous avez contribué à faire de moi une meilleure clinicienne et je vous en remercie. Ce fut un réel plaisir de vous côtoyer et j'espère avoir, un jour, l'occasion de retravailler avec vous!

Je tiens également à remercier tous les membres de la grande famille du LESCA : Francis Langlois, Maxime Lussier, Mélanie Renaud, Christine Gagnon, Nathalie Castonguay, Maude Lagüe-Beauvais, Saïd Mekary, Olivier Dupuy, Nicolas Berryman, etc. Les échanges scientifiques ont toujours été particulièrement intéressants et m'ont permis d'apprendre et de développer davantage mon esprit critique. Nos sorties, nos voyages, nos congrès, quant à eux, ont été de belles occasions de s'amuser, mais surtout de former de nouvelles amitiés. Merci à tous!

Cette thèse je la dois également à mes parents, Diane et Robert ainsi qu'à mon petit frère, Mathieu, qui ont toujours su m'appuyer lors de mon parcours. Chacun, à votre manière, vous m'avez aidée à passer au travers des moments plus difficiles, mais surtout vous avez su partager avec moi tous les beaux moments. Je suis infiniment reconnaissante de votre support, je vous aime!

En dernier lieu, mais non le moindre, je tiens à remercier mon amoureux, mon mari, Eric. Cette thèse, c'est aussi un peu la tienne... Ton amour inconditionnel, ton calme et tes conseils m'ont permis de garder en vue mon objectif, et ce, en dépit des hauts et bas qui ont eu lieu au cours de cette aventure. Merci de m'avoir supportée et accompagnée dans ce périple parfois bringuebalant, mais jamais ennuyant. Je t'aime xxx...

Merci à tous!



## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	viii
LISTE DES ANNEXES .....	ix
RÉSUMÉ .....	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
Objectifs généraux de la thèse .....	13
1.1. Exercices cardiovasculaires aigus, cognition et jeunes adultes .....	13
1.2. Effet de l'âge sur la relation entre l'exercice aigu et la cognition .....	14
CHAPITRE I	
DECLINE IN EXECUTIVE CONTROL DURING ACUTE BOUTS OF EXERCISE AS A FUNCTION OF EXERCISE INTENSITY AND FITNESS LEVEL .....	17
Abstract .....	19
Method .....	24
Results .....	29
Discussion .....	29
References .....	35
Captions .....	41
CHAPITRE II	
FITNESS LEVEL MODERATES EXECUTIVE CONTROL DISRUPTION DURING EXERCISE REGARDLESS OF AGE. ....	46
Abstract .....	49
Method .....	55
Results .....	61

Discussion.....	62
References.....	68
Figure captions.....	73
CHAPITRE III DISCUSSION GÉNÉRALE.....	80
3.1 Synthèse des résultats.....	82
3.2 Apport de la thèse.....	87
3.3 Limites de la thèse.....	88
3.4 Implications cliniques de la thèse.....	90
3.5 Perspectives futures.....	91
CONCLUSION.....	92
RÉFÉRENCES.....	93
ANNEXES.....	99
<i>ANNEXE 1</i> .....	100
<i>ANNEXE 2</i> .....	109
<i>ANNEXE 3</i> .....	120
<i>ANNEXE 4</i> .....	129
<i>ANNEXE 5</i> .....	131
<i>ANNEXE 6</i> .....	133
<i>ANNEXE 7</i> .....	135

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I

Figure		Page
1.	Mean error rate as a function of exercise intensity in the switching, reading non-switch trials and inhibition non-switch trials of the switching condition.....	42
2.	Mean coefficient of variability (ICV) in the inhibition non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity in lower and higher fit participants.....	43

### CHAPITRE II

Figure		
1.	Mean error rate for the denomination condition as a function of exercise intensity.....	74
2.	Mean error rate for the switching trials of the switching condition as a function of exercise intensity.....	75
3.	Change in error rate for the reading non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity and age.....	76
4.	Change in RTs for the inhibition non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity and fitness level.....	77

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE I

Table		Page
1.	Means and standard deviations of participant's demographic and physiological data in both fitness groups.....	44
2.	Means and standard deviations for the neuropsychological and mood assessment data in higher and lower fit participants.....	45

### CHAPITRE II

Table		
1.	Demographic and physical measures for both age and fitness groups.....	78
2.	Means and standard deviation of the brief neuropsychological evaluation as well as mood, sleep, cognitive activity and self-reported physical activity assessment data.....	79

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

### En français

TR	Temps de réponse
$\dot{V}O_2$ max	Consommation maximale d'oxygène

### En anglais

ANOVA	Analysis of variance
BDNF	Brain-Derived Neurotrophic Factor
HHR	Heart Rate Reserve
HRR	Heart Rate Ratio
HRmax	Maximal Heart Rate
M	Mean
$\eta^2$	Effect size
NIRS	Near-infrared spectroscopy
PaCO <sub>2</sub>	Arterial carbon dioxide pressure
PPO	Peak power output
RAH	Reticular-activating hypofrontality
RT	Reaction time
SD	Standard deviation
THT	Transient hypofrontality hypothesis
WAIS-III	Weschler Adult Intelligence Scales- 3rd edition

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 Tableaux de données de la session expérimentale — Article 1
- ANNEXE 2 Tableaux de données de la session expérimentale — Article 2
- ANNEXE 3 Formulaire de consentement
- ANNEXE 4 Approbation du comité d'éthique
- ANNEXE 5 Schéma de la séance expérimentale
- ANNEXE 6 Schéma de la tâche expérimentale et exemple abrégé d'une liste pseudo - randomisée de stimuli de la condition d'alternance
- ANNEXE 7 Preuve de soumission article 2

## RÉSUMÉ

De nombreuses études se sont intéressées aux effets de la pratique régulière d'exercices physiques sur la cognition des personnes âgées en raison de son effet modérateur du déclin des fonctions cognitives typiquement associées au vieillissement. Un nombre plus limité d'études a exploré l'effet immédiat de l'intensité d'un effort cardiovasculaire sur la cognition. Ce champ d'études revêt pourtant un intérêt majeur dans un contexte clinique et écologique puisqu'une panoplie de situations quotidiennes requiert une sollicitation concomitante des processus cognitifs et physiologiques (e.g. entretien ménager, monter les escaliers d'un centre commercial tout en cherchant son chemin, etc.). Sur le plan fondamental, ces études pourraient également nous aider à mieux comprendre l'impact direct d'un exercice physique de diverses intensités sur les fonctions cérébrales. Actuellement, les quelques études qui ont tenté d'éclaircir le lien entre l'intensité de l'exercice et la cognition ont principalement été réalisées auprès de jeunes adultes. Malheureusement, elles ne permettent pas de tirer des conclusions claires. Ceci serait possiblement imputable aux grandes variabilités méthodologiques qui touchent quatre aspects fondamentaux soit 1 — l'intensité de l'exercice, 2 — les tâches cognitives utilisées et donc les processus cognitifs sous-jacents, 3 — le protocole d'exercice et 4 — le niveau de condition cardiorespiratoire.

Ainsi, l'objectif principal de la première étude de cette thèse visait à explorer, au sein d'un même devis, l'effet de la variation de l'intensité de l'exercice (i.e. léger, modéré, élevé) sur la cognition des jeunes adultes. D'autre part, cette étude visait à clarifier le rôle de certains facteurs confondants suggérés dans la littérature soit le type de tâche cognitive (exécutive versus non exécutive) ainsi que le niveau de condition cardiorespiratoire (plus en forme versus moins en forme). Trente-sept participants âgés entre 20 et 29 ans ont complété l'étude. À la suite d'un test incrémenté, les participants ont été classés, en fonction de critères normatifs, dans l'un des deux groupes de condition cardiorespiratoire (plus en forme versus moins en forme). Par la suite, ils ont réalisé trois périodes d'exercices cardiovasculaires (i.e. 40 %, 60 % et 80 % de leur puissance maximale; PPO) tout en accomplissant une tâche modifiée et informatisée de Stroop comprenant des conditions de dénomination, d'inhibition et d'alternance. L'ordre des périodes a été contrebalancé entre les participants à l'aide d'un carré latin d'arrangement 3X3 (i.e. 40 %, 60 %, 80 %; 60 %, 80 %, 40 % & 80 %, 40 %, 60 %). Les résultats de cette étude ont démontré une augmentation du taux d'erreurs dans la condition d'alternance chez tous les participants lorsque l'intensité a augmenté de 60 % à 80 % PPO. Par ailleurs, les individus moins en forme présentaient une variabilité accrue de leur temps de réaction (TR). Ceci suggère que des périodes aigues d'exercice cardiovasculaire peuvent altérer momentanément le contrôle exécutif, et ce, de manière plus marquée chez les individus moins en forme.

La seconde étude de cette thèse avait pour but d'évaluer l'impact de l'âge chronologique sur la relation entre des exercices cardiovasculaires aigus et la cognition.

Suivant la méthodologie décrite précédemment, trente-sept participants âgés entre 20 et 29 ans ainsi que trente et un individus âgés entre 60 et 70 ans ont complété l'étude. Les résultats obtenus reproduisent les effets de la première étude, soient une diminution des performances dans la condition d'alternance seulement, et ce, uniquement lorsque l'intensité a augmenté de 60 % à 80 % PPO. L'âge ne semble pas avoir eu un effet significatif sur la relation entre les exercices aigus et la cognition dans cette étude. Or, le fait de présenter une meilleure capacité cardiovasculaire était, tel que démontré dans la première étude, associé à une moins grande vulnérabilité face aux effets délétères d'exercices d'une intensité modérée à élevée sur la cognition. Ces résultats suggèrent ainsi que de brèves séances d'exercices cardiovasculaires peuvent momentanément perturber certains aspects du contrôle exécutif et, bien que l'âge ne semble pas avoir un impact majeur sur cette relation, le fait d'être en meilleure forme semble modérer ces effets délétères.

Mots-clés : Exercice cardiovasculaire aigu, capacité cardiorespiratoire, contrôle exécutif, lobes frontaux, vieillissement.



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

### Les effets du vieillissement

Le vieillissement de la population mondiale constitue un enjeu de santé publique important. En effet, les individus âgés de 60 ans et plus représenteront, d'ici 2050, 22 % de la population mondiale. Il est estimé que le nombre de personnes âgées en perte d'autonomie devrait, lui, quadrupler d'ici cette date (World Health Organization, 2012). En 2003, au Canada, près de la moitié des dépenses des gouvernements provinciaux en matière de financement des hôpitaux a été utilisée afin de prodiguer des soins aux personnes âgées de 65 ans et plus (Canada, 2005). Compte tenu des limitations fonctionnelles importantes qui découlent des déficits physiques et cognitifs typiquement associés au vieillissement, il apparaît essentiel que des moyens simples et économiques doivent être mis en place afin de limiter les coûts liés aux soins de santé, mais surtout afin de préserver la qualité de vie des aînés. Ainsi, au cours des dernières décennies, plusieurs organismes gouvernementaux ont fait du vieillissement un sujet d'étude prioritaire à l'échelle mondiale et, par conséquent, stimulé la recherche dans ce domaine.

Malgré le caractère complexe et hétérogène du vieillissement, ces études ont pu mettre en lumière certaines tendances. Au plan physique, le vieillissement est, entre autres, associé à un déclin de certains processus physiologiques tels que la régulation de la pression systolique et de la consommation maximale d'oxygène ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ) (Chodzko-Zajko, Schuler, Solomon, Heini, & Ellis, 1992). À cet égard, Hawkins & Wiswell (2003) stipulent que le  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  décline de dix pour cent (10 %) par décennie à partir de l'âge de 30 ans. Cette diminution progressive est elle-même associée à un risque accru de développer une maladie cardiovasculaire ce qui constitue en soi un facteur de risque de développer un trouble cognitif (Schuit et al., 2001).

Le cerveau subit également des modifications avec l'âge. Alors que le cortex cérébral diminue de 0.12 % par an chez les jeunes adultes, l'on observe une diminution annuelle de 0.35 % chez ceux âgés de plus de 52 ans. Or, il importe de souligner que les diverses régions du cerveau ne sont pas toutes affectées également au cours du vieillissement. En effet, les lobes frontaux sont ceux qui présentent le taux de déclin le plus élevé avec l'âge (Dennis & Cabeza, 2008).

Au même titre que les modifications cérébrales encourues avec l'avancée en âge, les fonctions cognitives ne sont pas toutes affectées de la même manière. Alors que les habiletés langagières (e.g. vocabulaire/lexique) augmentent avec l'âge, le contrôle exécutif diminue (Park, Polk, Mikels, Taylor, & Marshuetz, 2001). Ainsi, le contrôle exécutif serait disproportionnellement touché au cours du vieillissement normal (Bherer, Belleville, & Hudon, 2004). Selon la conceptualisation contemporaine du contrôle exécutif, ce dernier ne serait pas unitaire, mais constituerait plutôt en un ensemble de mécanismes cognitifs élémentaires tels que l'inhibition (i.e., inhibition d'une réponse automatique non adaptée au contexte), l'alternance (i.e., capacité à alterner son attention entre deux consignes distinctes) ainsi que le suivi et la mise à jour en mémoire de travail (Levine, Turner, & Stuss, 2008; Miyake et al., 2000). Ces derniers sont essentiels à l'exécution d'activités cognitives complexes telles que la mémoire, le langage, le raisonnement et la planification. Notons que ces divers mécanismes sont généralement associés à l'intégrité des lobes frontaux. Ainsi, certains auteurs ont postulé que cette atteinte marquée des mécanismes de contrôle exécutif chez les personnes âgées pourrait s'expliquer par les modifications précoces des régions frontales du cortex cérébral observées au cours de l'avancée en âge (Raz, 2000). L'étude du contrôle exécutif paraît donc tout indiquée dans un contexte de vieillissement d'une part dans une perspective fondamentale (i.e. précision de l'amplitude des effets délétères du vieillissement sur les divers mécanismes du contrôle exécutif), mais surtout dans un contexte de médecine préventive. De fait, il a été démontré que des difficultés au plan du contrôle exécutif étaient associées à des troubles au niveau de la démarche des personnes âgées et que ces anomalies au plan locomoteur sont, elles-mêmes, associées à des risques accrus de chute (Martin et al., 2012).

#### Les modérateurs du vieillissement physique et cognitif

Bien heureusement, il semble que les conséquences négatives typiquement associées au vieillissement cérébral et cognitif ne soient pas complètement inéluctables. Selon Stern (2009), la réserve cérébrale ainsi que la réserve cognitive pourraient agir à titre de tampon et ainsi, modérer les effets délétères du vieillissement cérébral et cognitif. Par ailleurs, les différences interindividuelles en regard de ces concepts pourraient également contribuer à expliquer, à tout le moins en partie, l'hétérogénéité observée au cours du vieillissement. La réserve cérébrale fait essentiellement référence à des différences interindividuelles quant au substrat cérébral en soi (i.e., quantité de neurones,

de synapses, d'arborisations dendritiques, etc.) alors que la réserve cognitive réfère plutôt aux différences interindividuelles en regard de l'efficacité des réseaux neuronaux. Bien que ces derniers puissent être en partie génétiquement programmés, certains types d'entraînement cognitifs ainsi que certaines habitudes de vie (i.e., la réalisation d'activités cognitivement stimulantes et la pratique régulière d'exercices cardiovasculaires) pourraient en modifier la structure/l'efficacité et ainsi modérer les effets délétères associés au vieillissement (Hertzog, Kramer, Wilson, & Lindenberger, 2009).

Par exemple, il a été démontré qu'à la suite d'un entraînement cognitif en situation de double tâche (i.e., réalisation de 2 tâches cognitives concomitantes) de seulement 5 séances, les aînés parviennent à améliorer leur rendement, et ce, dans une proportion similaire à celle des jeunes adultes. Ceci suggère donc que ce type d'entraînement cognitif peut engendrer des améliorations significatives au plan du partage de l'attention chez les aînés (Bherer et al., 2006). D'autre part, des chercheurs ont observé que la pratique régulière d'activités cognitivement stimulantes (e.g. réalisation de nouveaux apprentissages; lecture; jeux de société, etc.) est associée à une meilleure vitesse de traitement de l'information, à de meilleures habiletés visuo-spatiales ainsi qu'à de meilleures performances dans les tâches de mémoire sémantique (Wilson, Barnes, & Bennett, 2003).

Finalement, de plus en plus d'études font état du fait que la pratique d'activités cardiovasculaires sur une base régulière a un effet bénéfique sur la cognition des personnes âgées. Une méta-analyse réalisée par Colcombe et Kramer (2003) démontre qu'un programme d'entraînement cardiovasculaire améliore la rapidité du traitement de l'information (i.e. temps de réaction simple), les processus contrôlés (i.e. temps de réaction au choix), les fonctions visuo-spatiales, mais plus particulièrement les mécanismes du contrôle exécutif essentiels à l'exécution d'activités cognitives complexes. Cette méta-analyse confirme les résultats préalablement obtenus par Hawkins, Kramer et Capaldi (1992) qui soutiennent qu'un programme de conditionnement physique aquatique permet une amélioration significative des performances des aînés en attention divisée. Des études plus récentes ont également reproduit ces effets. Il a été démontré que les coûts attentionnels liés à la performance de deux tâches cognitives concurrentes sont diminués chez des aînés ayant une bonne capacité cardiorespiratoire comparativement à leurs homologues ayant une moins bonne capacité cardiorespiratoire. Plus précisément, il a été observé que les coûts attentionnels ont tendance à augmenter

avec l'âge, mais de manière plus marquée chez les aînés qui présentent une faible capacité cardiorespiratoire, comparativement à ceux ayant une bonne santé cardiorespiratoire (Labelle, Renaud, & Bherer, 2007). D'autre part, Renaud, Bherer & Maquestiaux (2010) ont démontré que les processus de préparation à répondre étaient plus efficaces chez les aînés ayant une meilleure capacité cardiorespiratoire. À ce jour, cet effet bénéfique de l'entraînement cardiovasculaire sur le contrôle exécutif spécifiquement pourrait s'expliquer par la contribution unique ou la combinaison de plusieurs facteurs : une augmentation des facteurs de croissance favorisant la plasticité cérébrale et la survie neuronale (e.g. Brain-Derived Neurotrophic Factor; BDNF), une diminution des facteurs inflammatoires, ou d'une modification de marqueurs vasculaires (Erickson, Weinstein, & Lopez, 2012). À ce sujet, l'hypothèse vasculaire suggère que ce type d'entraînement engendre une meilleure vascularisation des tissus cérébraux qui, à son tour, assure la disponibilité des ressources métaboliques (e.g. oxygène et glucose) nécessaires à l'accomplissement d'une tâche cognitive. Des études en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) appuient cette hypothèse puisqu'elles ont permis d'observer que lorsqu'ils sont confrontés à une tâche de contrôle exécutif (i.e. Flanker task), les aînés ayant une bonne capacité cardiorespiratoire démontrent une plus grande activation des régions cérébrales associées à un contrôle exécutif efficace. (i.e. gyrus frontaux moyens et supérieurs et lobes pariétaux supérieurs) (Colcombe et al., 2004).

Il est donc généralement accepté aujourd'hui qu'en plus d'agir à titre de modérateur de plusieurs maladies chroniques (e.g. maladies cardiovasculaires, diabète, cancer du sein et du côlon, etc.), la pratique régulière d'activités cardiovasculaires permettrait de modérer le déclin cognitif typiquement associé avec l'âge (Ahlskog, Geda, Graff-Radford, & Petersen, 2011; Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman, & Vanhees, 2008; Colcombe & Kramer, 2003; Etnier, Nowell, Landers & Sibley, 2006; Heyn, Abreu, & Ottenbacher, 2004). Une récente revue de la littérature a mis en évidence que les régions préfrontales du cerveau ainsi que les hippocampes des aînés qui pratiquent régulièrement des activités cardiovasculaires présentent des volumes plus importants que ceux qui en pratiquent moins (Erickson et al., 2012). Quoique l'étude des effets de la condition cardiorespiratoire sur la mémoire soit encore embryonnaire, il apparaît que les fonctions de contrôle exécutif sont généralement positivement influencées par la condition cardiorespiratoire (Ahlskog et al., 2011; Angevaren et al., 2008; Colcombe et

al., 2003). L'ensemble de ces trouvailles scientifiques accumulées au cours des dernières décennies a amené les organismes gouvernementaux et de recherche à valoriser davantage la pratique de l'activité physique. En 2007, *l'American College of Sports Medicine* (ACSM) revoit ses recommandations destinées aux individus âgés de 65 ans et plus (Nelson et al., 2007). En effet, alors que seules les activités aérobiques d'intensité modérées étaient antérieurement suggérées (i.e. 5 séances de 30 minutes/semaine), l'ACSM ajoute à ses recommandations, la pratique d'activités cardiovasculaires intenses (i.e. 3 séances de 20 minutes/semaine).

#### Étude des effets aigus de l'exercice sur la cognition

Bien que les effets cardiovasculaires et musculaires de ces programmes d'entraînement régulier soient plutôt bien connus, on ne connaît encore que peu les effets de séances d'activités cardiovasculaires aiguës sur le fonctionnement cognitif des aînés.

Ce champ d'études revêt pourtant un intérêt majeur dans un contexte fondamental et de prescription d'entraînement. En effet, nous sommes en mesure de nous demander quelles pourraient être les répercussions cognitives de séances d'exercice d'intensités modérées et élevées. De manière plus importante encore, ce domaine de recherche est particulièrement pertinent dans une perspective écologique puisqu'une panoplie de situations quotidiennes requiert une sollicitation concomitante de processus cognitifs et physiologiques (e.g. entretien ménager, monter les escaliers du métro tout en cherchant son chemin, etc.). Une étude réalisée par Li, Lindenberger, Freund & Baltes (2001), a démontré que lorsque les aînés sont confrontés à une double tâche de mémorisation de noms communs et de marche, ils ont, comparativement aux jeunes adultes, davantage tendance à négliger la tâche cognitive au profit de la tâche de nature physique et ce, probablement dans le but d'éviter de chuter. Dans cette étude, les participants avaient la possibilité d'interrompre une des tâches en cours. Or, il est possible de se demander comment ils auraient réagi s'ils n'avaient pas été dans la possibilité de sacrifier l'une des deux tâches. Cette étude soulève donc des enjeux de sécurité, puisque, tel que mentionné précédemment, plusieurs activités de la vie quotidienne nécessitent l'implication simultanée des processus cognitifs et physiques. Or, bien que le nombre d'études de ce type soit de plus en plus populaire et croisse rapidement, l'intensité de la tâche de marche n'est jamais prise en compte. Pourtant, au-delà du fait de réaliser deux tâches concurrentes, de plus en plus d'études soutiennent que le niveau d'intensité de la tâche



physique aurait une grande influence sur divers paramètres physiologiques qui eux, auraient la capacité de moduler les processus cognitifs. Étonnamment, alors que plusieurs études se sont intéressées à cette relation entre l'exercice aigu et la cognition chez les jeunes adultes, peu l'on fait auprès d'aînés.

#### Exercices aigus, cognition et jeunes adultes

Depuis les deux dernières décennies, l'étude de la relation entre les effets d'exercices cardiovasculaires aigus et la cognition auprès des jeunes adultes a fait l'objet de nombreuses recherches. Or, les résultats générés par ces dernières sont contradictoires et ainsi peu concluants. Certaines études ont démontré que des séances d'activités cardiovasculaires aiguës pouvaient momentanément améliorer les performances cognitives (McGlynn, Laughlin, & Bender, 1977; McMorris & Graydon, 1997; McMorris et al., 1999; McMorris et al., 2003; Pesce & Audiffren, 2011; Pesce, Tessitore, Casella, Pirritano, & Capranica, 2007), alors que d'autres ont plutôt observé un effet délétère de l'exercice aigu sur le rendement cognitif (Audiffren, Brisswalter, Brandet, & Bosquet, 1998; Audiffren, Tomporowski, & Zagrodnik, 2009; Del Giorno, Hall, O'Leary, Bixby, & Miller, 2010; Dietrich & Sparling, 2004; McMorris et al., 2009; McMorris & Keen, 1994; Pontifex & Hillman, 2007). Certaines ont également mis en évidence des effets mixtes, incluant des améliorations et détériorations cognitives (Chmura, Nazar, & Kaciuba-Uscilko, 1994; Davranche, Hall, & McMorris, 2009; Davranche & McMorris, 2009). Finalement, quelques rares études n'ont tout simplement pas démontré d'effet d'un exercice aigu sur la cognition (Fery, Ferry, Vom Hofe, & Rieu, 1997).

Des explications théoriques ont été mises de l'avant afin de tenter d'expliquer les divers changements cognitifs observés pendant la réalisation d'un exercice cardiovasculaire aigu. Les travaux pionniers de Davey (1973) suggéraient une relation en U-inversé entre l'augmentation de l'activation physiologique induite par l'exercice et les performances cognitives. Selon lui, une augmentation de l'intensité d'un exercice pourrait se traduire en une augmentation progressive des performances cognitives, et ce, jusqu'à l'atteinte d'un seuil après lequel les performances cognitives diminueraient. Or, les mécanismes sous-tendant ce phénomène n'étaient pas connus et peu d'études empiriques en arrivent à cette conclusion. Des modèles et hypothèses contemporains suggèrent néanmoins des pistes de réflexion.

Les modèles cognitifs-énergétiques (*Cognitive-energetic models*) proposent des explications qui pourraient expliquer à la fois les effets positifs et négatifs de séances d'exercice aigu sur la cognition (Audiffren, 2009). Des exercices cardiovasculaires de durée modérée pourraient améliorer la cognition en permettant une augmentation soit des ressources disponibles (Kahneman, 1973) soit de l'éveil/de l'activation (Humphreys & Revelle, 1984; Sanders, 1983). D'autre part, considérant le fait que le cerveau possède une quantité limitée de ressources, les effets négatifs d'exercices aigus sur la cognition pourraient alors s'expliquer par le partage de ces dernières entre la tâche cognitive et l'exercice en soi (Hockey, 1997; Kahneman, 1973; Sanders, 1983).

Dans la même lignée, l'hypothèse de l'hypofrontalité transitoire (*Transient Hypofrontality Hypothesis*; THT) suggère que des séances d'exercices cardiovasculaires d'intensité élevée pourraient engendrer des changements physiologiques pouvant perturber l'homéostasie. En réaction à cette perturbation de l'homéostasie, le cerveau adapterait la manière dont il alloue les ressources métaboliques (i.e. oxygène et glucose). Le fait de maintenir un exercice de haute intensité augmente la mobilisation de circuits neuronaux et donc des ressources dans certaines régions du cerveau ce qui limite inévitablement l'accessibilité des ressources pour les autres régions cérébrales. Selon cette théorie, les lobes préfrontaux ne joueraient pas un rôle critique dans le maintien d'un exercice cardiovasculaire intense. Ainsi, la THT propose que les lobes préfrontaux devraient être lourdement affectés par la diminution de la disponibilité des ressources (Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Audiffren, 2011; Dietrich & Sparling, 2004).

Des études réalisées en imagerie cérébrale supportent cette hypothèse et proposent une explication des mécanismes physiologiques sous-tendant la diminution du rendement cognitif pendant un exercice d'intensité élevée. Les études réalisées à l'aide d'imagerie optique proche-infrarouge (*NIRS*) démontrent généralement une diminution de l'oxygénation spécifiquement au niveau des lobes préfrontaux pendant la réalisation d'un exercice intense (Bhambhani, Malik, & Mookerjee, 2007; Ekkekakis, 2009). Les mécanismes sous-tendant ce phénomène seraient déclenchés par une cascade de changements physiologiques. Une augmentation importante de l'intensité de l'exercice entraîne une augmentation de la consommation d'oxygène afin de subvenir aux besoins des muscles. Cette consommation accrue d'oxygène est elle-même inévitablement associée à une importante production de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ). Lorsque cela survient, le rythme de la respiration augmente considérablement (i.e., hyperventilation) afin de rejeter

le CO<sub>2</sub>. L'hyperventilation cause une diminution de la pression artérielle en gaz carbonique ( $\downarrow$  PaCO<sub>2</sub>). Les niveaux de PaCO<sub>2</sub> jouent un rôle important dans la régulation du flux sanguin cérébral. En effet, une augmentation de ces niveaux induit une vasodilatation et une augmentation du flux sanguin. Au contraire, une diminution de ces niveaux entraîne une vasoconstriction et, conséquemment une diminution de la perfusion cérébrale (Bhambhani et al., 2007; Linkis et al., 1995).

Au cours du vieillissement, des changements physiologiques surviennent, entre autres, au niveau pulmonaire. Parmi ces derniers, on note principalement une diminution de la rétraction élastique du poumon, une diminution de la compliabilité thoracique (i.e. causée par une calcification progressive du thorax) ainsi qu'une diminution dans la force des muscles respiratoires (Janssens, Pache, & Nicod, 1999). Or, compte tenu de la grande diffusibilité alvéo-capillaire du CO<sub>2</sub>, la PaCO<sub>2</sub> n'est pas influencée par le vieillissement. (Ketata, Rekik, Ayadi, & Kammoun, 2012). Ainsi, les diminutions de PaCO<sub>2</sub> observées lors de la réalisation d'exercices physiques intenses devraient être similaires entre les jeunes adultes et les aînés. La réalisation d'une tâche cognitive nécessite l'activation de réseaux neuronaux. Pour ce faire, cela nécessite un apport en oxygène et en glucose. Ceux-ci sont véhiculés par le sang. Or, un exercice intense entraîne une vasoconstriction, une diminution de l'apport sanguin et une diminution de l'oxygénation au niveau des lobes frontaux, et ce, présumément de manière identique chez les jeunes adultes et les aînés. Conséquemment, les fonctions cognitives sous-tendues par des lobes frontaux devraient être négativement affectées par des exercices intenses, et ce, peut importe l'âge.

Les fonctions de contrôle exécutif telles que l'inhibition, l'alternance et le suivi/la mise à jour en mémoire de travail reposent, entre autres, sur l'intégrité des lobes frontaux. Ces fonctions sont distinctes d'un point de vue comportemental (Levine et al., 2008; Miyake et al., 2000) et neuroanatomique (Braver & West, 2008). Or, bien que ces mécanismes soient distincts et activent diverses régions cérébrales qui peuvent varier en fonction de l'âge, toutes requièrent néanmoins l'implication des lobes frontaux et devraient donc être particulièrement touchées par une augmentation importante de l'intensité. Or, encore peu d'études se sont intéressées à vérifier les effets spécifiques de séances d'exercice aigu sur plusieurs mécanismes de contrôle exécutif dans le cadre d'un même devis expérimental.



Finalement, quelques hypothèses récentes ont suggéré que des changements neuroendocrinologiques pourraient également contribuer à expliquer les effets d'exercices cardiovasculaires aigus sur la cognition par le biais de l'influence des catécholamines (i.e. dopamine, noradrénaline et adrénaline) et du cortisol. Lors de la pratique d'exercices d'intensités élevées, on observe une augmentation des concentrations de cortisol ce qui pourrait mener à une augmentation exagérée de l'éveil/l'activation et ainsi mener à de moins bonnes performances cognitives. Pour sa part, l'augmentation de catécholamines tend à activer préférentiellement le système limbique au détriment des lobes préfrontaux ce qui, en retour, pourrait causer une baisse significative des performances aux tâches de contrôle exécutif (McMorris, 2009).

Bien que l'ensemble de ces hypothèses apparaisse plausible, d'autres études empiriques seront nécessaires afin d'évaluer leur contribution dans l'explication des effets d'exercices aigus sur la cognition. Nous avons précédemment mis l'accent sur les disparités entre les diverses études s'étant déjà intéressées à la relation entre exercices aigus et cognition. À l'heure actuelle, force est de constater que les divergences perdurent. En effet, malgré un travail rigoureux d'analyse et de synthèse, les méta-analyses et revues de la littérature récentes ne parviennent pas à établir de consensus (Brisswalter, Collardeau, & Arcelin, 2002; Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris & Hale, 2012; McMorris, Sproule, Turner & Hale, 2011; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986). En effet, alors que la majorité d'entre elles suggère que le moment pendant lequel est évalué la cognition (i.e., avant, pendant ou après l'exercice) a un impact sur la cognition, d'autres en arrivent à une conclusion inverse (Chang et al., 2012; McMorris & Hale, 2012) et ainsi, vont à l'encontre de la plupart des hypothèses/modèles, mais aussi de plusieurs études empiriques bien structurées ayant spécifiquement prédit ou observé des différences neurocognitives en fonction de cette variable. Or, tel que suggéré par McMorris & Hale (2012), ces disparités sont fort probablement imputables aux différences en termes de critères d'inclusions des études dans les méta-analyses (e.g., variation dans les tâches cognitives analysées, dans les catégories d'intensités de l'exercice, dans les index d'intensités, etc.). En bref, il semble que notre compréhension de la relation entre l'exercice cardiovasculaire aigu et la cognition n'est encore que partielle et mériterait d'être raffinée. Une revue de la littérature d'études empiriques suggère quelques pistes de réflexion.

La plupart des auteurs s'entendent pour dire que les différences importantes au plan méthodologique pourraient, à tout le moins en partie, expliquer les divergences entre les conclusions des diverses études. Le premier facteur méthodologique confondant concerne la nature du processus cognitif sous évaluation pendant un exercice cardiovasculaire aigu. Par exemple, Audiffren, Tomporowski & Zagrodnik (2008) et McMorris et al., (2003) ont démontré que l'exercice aigu avait un effet positif sur la vitesse de traitement de l'information, et ce, autant dans des tâches de TR simple que de TR au choix. Or, d'autres (Davranche & McMorris, 2009; McMorris et al., 2009; Pontifex & Hillman, 2007) ont démontré des effets négatifs de l'exercice sur la capacité d'inhibition. Ainsi, le processus cognitif sous-tendant la réalisation de la tâche cognitive est un facteur majeur devant être pris en compte lorsque l'on s'intéresse à comprendre comment l'exercice affecte le fonctionnement cognitif.

Un second facteur méthodologique confondant fait référence au choix de la nature de l'exercice cardiovasculaire. Certaines études ont suggéré qu'un exercice cardiovasculaire continu (i.e., augmentation graduelle de l'intensité sans pauses entre les divers paliers) pouvait entraîner une amélioration de la vitesse de traitement de l'information à de hautes intensités (McMorris et al., 2003; Paas & Adam, 1991). D'autres études, qui ont plutôt opté pour divers paliers d'intensité entrecoupés de périodes de repos et de récupération ont plutôt démontré que la vitesse de traitement de l'information était moins optimale pendant un exercice comparativement au repos (Audiffren et al., 1998). Ainsi, il semble que même lorsque le processus cognitif étudié est identique (i.e., vitesse de traitement de l'information), les différents types de protocoles d'exercice physique peuvent mener à des résultats contradictoires.

L'intensité de l'exercice constitue un autre élément pouvant mener à des résultats contradictoires. Tel que mentionné précédemment, seuls des exercices d'intensités élevées sont associés à une diminution de la perfusion cérébrale au niveau des lobes frontaux. Ainsi, il semble aller de soi que la variation de l'intensité engendre des changements physiologiques et donc cognitifs différents. D'une part, mentionnons que bien que plusieurs études se soient intéressées aux effets d'exercices d'intensités modérées sur la cognition, peu de recherches se sont attardées à vérifier les effets d'exercices de faibles ou de hautes intensités (McMorris et al., 2011). D'autre part, il importe de souligner le fait que les études utilisent des index d'intensité de l'exercice variés (e.g. pourcentages de la réserve maximale de la fréquence cardiaque (*Heart rate*

*reserve- HHR*), de la fréquence cardiaque maximale (HRmax), de la puissance maximale au moment du test (PPO), de la consommation maximale d'oxygène ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ), du seuil du lactate/adrenaline, du seuil ventilatoire, etc.). Qui plus est, lorsque l'on compare des études ayant utilisé le même index (e.g. HR max) (Dietrich & Sparling, 2004; Pontifex & Hillman, 2007), on constate que le choix des niveaux d'intensité varie entre les études (i.e., 70-80 % versus 60 %, respectivement). À l'heure actuelle, il est donc particulièrement difficile de conclure quels sont les effets cognitifs précis de certains niveaux d'exercice.

Le niveau de capacité cardiorespiratoire des participants a également été soulevé à titre de facteur confondant pouvant affecter la relation entre l'exercice aigu et la cognition (Brisswalter et al., 2002; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris et al., 2011; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986). Or, peu d'études l'ont considéré (Pesce, 2009). Pourtant, certains auteurs ont démontré que les individus présentant une bonne capacité cardiorespiratoire démontrent une amélioration de leurs performances cognitives (i.e. TR au choix) à de hautes intensités alors que le rendement demeure stable chez ceux qui sont moins en forme (Brisswalter, Legros, & Delignières, 1994). Cependant, le mécanisme sous-jacent pouvant expliquer les différences entre les individus présentant des niveaux de condition cardiorespiratoire différente n'est pas encore bien connu. Certaines études font état du fait que malgré une diminution de la  $PaCO_2$ , la saturation en oxygène ( $O_2$ ) tend à augmenter au niveau des lobes préfrontaux des athlètes qui pratiquent une séance de vélo de haute intensité (Nielsen, Boushel, Madsen, & Secher, 1999). Une récente revue de la littérature confirme ces observations et affirme que la diminution du niveau d'oxygénation au niveau du cortex préfrontal observé lors de la réalisation d'exercices de très haute intensité n'est observée que chez les individus non entraînés et ce, peu importe leur âge (Rooks, Thom, McCully, & Dishman, 2010). Ainsi, cela suggère que les performances cognitives d'individus jeunes ou âgés présentant une bonne capacité cardiorespiratoire pourraient être moins affectées par des exercices de hautes intensités. Cet aspect est particulièrement important puisqu'il suggère qu'indépendamment de l'âge, le niveau de condition cardiorespiratoire pourrait moduler les effets délétères d'une augmentation importante de l'intensité d'un exercice sur les fonctions cognitives supportées par les lobes frontaux (i.e. contrôle exécutif). À notre connaissance, aucune étude n'a toutefois encore étudié ce phénomène. Une autre hypothèse, cette fois-ci en lien avec les changements biochimiques présents pendant un

exercice, milite en faveur d'une influence du niveau de capacité cardiorespiratoire sur la relation entre l'exercice aigu et la cognition (Brisswalter, Arcelin, Audiffren, & Delignieres, 1997). En effet, chez les individus peu en forme, on observe, au terme d'un exercice, un niveau de concentration de catécholamines urinaires supérieur à celui d'individus davantage en forme (de Diego Acosta et al., 2001). Tel que mentionné précédemment, une augmentation importante de la sécrétion des catécholamines pourrait activer préférentiellement le système limbique au détriment des lobes frontaux et conséquemment, affecter négativement les performances cognitives des individus possédant une moins bonne capacité cardiorespiratoire. Une troisième hypothèse combine les effets de la capacité cardiorespiratoire et de la régulation émotionnelle. Les individus présentant une moins bonne capacité cardiorespiratoire sont plus rarement exposés à des séances d'exercice d'intensités élevées et donc aux sensations négatives pouvant y être associées (e.g. hyperventilation, nausées, etc.). Ainsi, ces individus peuvent présenter un niveau d'anxiété davantage élevé que ceux plus en forme et, par conséquent, moins bien performer aux tâches cognitives réalisées lors d'exercices d'intensités élevées (McMorris, 2009). Bien que ces hypothèses méritent d'être empiriquement vérifiées, les trois hypothèses centrales mentionnées précédemment prédisent toutes qu'un niveau de condition cardiorespiratoire supérieur pourrait modérer les effets délétères d'un exercice de haute intensité sur la cognition.

Finalement, tel que mentionné précédemment, peu d'études se sont intéressées à la contribution de l'âge chronologique sur la relation entre l'exercice aigu et la cognition (Pesce, 2009), et ce, en dépit de l'intérêt scientifique et clinique. À l'heure actuelle, seulement quelques rares recherches se sont intéressées à l'étude de ce phénomène chez les aînés. Dans une étude réalisée par Pesce, Cereatti, Forte, Crova & Casella (2011), les aînés présentant une meilleure condition physique présentaient des temps de réaction (TR) plus courts pendant l'exercice (i.e. 60% Heart rate reserve- HHR) comparativement au repos (contexte expérimental; conditions contrebalancées et incluant des pauses entre les évaluations). Ces résultats semblent initialement aller à l'encontre des hypothèses, modèles et théories présentés précédemment. Or, il importe de rappeler que ces modèles et théories effectuent des prédictions de l'effet de l'augmentation de l'intensité de l'exercice, mais principalement en regard des effets physiologiques et cognitifs associés à des exercices d'intensités élevées. Ainsi, cette différence méthodologique au plan de l'intensité de l'exercice pourrait expliquer les résultats obtenus par Pesce et ses



collaborateurs. Une autre étude, utilisant, cette fois-ci un protocole d'exercice continu (i.e. aucune pause ni contrebalancement entre les évaluations; repos, 30 % et 70 % du rapport de la fréquence cardiaque (HRR)), suggère une diminution des TR pendant l'exercice comparativement au repos, et ce, autant pour les jeunes adultes que les aînés. Ils rapportent également un impact positif de l'exercice à 70 % HHR comparativement à 30 % HRR (Lucas et al., 2012). Cependant, cette dernière étude doit être interprétée avec précaution. Le fait de réaliser les diverses conditions (i.e. repos, 30 et 70 % HRR) une à la suite de l'autre sans pauses ni contrebalancement pourrait avoir induit des effets de pratique/séquence et ainsi biaisé les résultats. En bref, les quelques études actuelles s'étant intéressées à la contribution potentielle de l'âge chronologique sur la relation entre l'exercice cardiovasculaire aigu et la cognition ne nous permettent pas encore de tirer des conclusions claires.

#### Objectifs généraux de la thèse

L'objectif principal de cette thèse vise une meilleure compréhension des effets de la variation de l'intensité d'exercices cardiovasculaires aigus sur la cognition. Plus précisément, ce travail a également pour objectif d'examiner la contribution de facteurs confondants pouvant potentiellement influencer la relation entre l'exercice aigu et la cognition soit : 1 — la nature du processus cognitif évalué (i.e. exécutif versus non-exécutif), 2 — le niveau de capacité cardiorespiratoire et finalement 3 — l'âge.

##### 1.1. Exercices cardiovasculaires aigus, cognition et jeunes adultes.

Tel que mentionné précédemment, des différences méthodologiques importantes entre les études réalisées auprès de jeunes adultes nous empêchent de tirer des conclusions claires quant aux effets de la variation de l'intensité d'exercices cardiovasculaires aigus sur la cognition. Ainsi, la première étude de cette thèse avait pour but d'évaluer, dans le cadre d'une seule et même expérimentation, les effets de la variation de l'intensité (i.e., légère, modérée, élevée) sur la cognition tout cela en tenant compte des facteurs confondants potentiels en 1 — utilisant une tâche modifiée et informatisée de Stroop permettant une distinction entre les processus de contrôle exécutif et la vitesse de traitement de l'information et en contrôlant pour 2 — le niveau de capacité cardiorespiratoire des participants. Notons que nous avons également administré une brève batterie de tests neuropsychologiques avant la séance expérimentale pour but de comparaison de départ entre les groupes de jeunes adultes plus en forme et moins en

forme. Cette dernière permettait un survol des habiletés perceptuelles et de la vitesse de traitement de l'information (Substitution de symboles du WAIS-III et Tracé de pistes A), de la capacité de la mémoire à court terme et de l'efficacité de la mémoire de travail (Empans directs et à rebours du WAIS-III), des habiletés verbales et des capacités d'abstraction (Similitudes du WAIS-III) (Wechsler, 1997) et de la flexibilité cognitive (Tracé de pistes B)(AITB, 1944). Les participants ont également rempli des questionnaires visant à évaluer la symptomatologie dépressive (Beck depression inventory ;BDI-II)(Beck, Steer, & Brown, 1996), la qualité du sommeil (Pittsburgh sleep quality index ; PSQI)(Buysse, Reynolds, Monk, Berman, & Kupfer, 1989), la pratique d'activités cognitivement stimulantes (Wilson et al., 2003) ainsi que l'éventail des activités physiques pratiquées au cours de la dernière année (Modifiable Activity Questionnaire :MAQ)(Vuillemin et al., 2000).

### *1.1.1 Hypothèses de la première étude*

Compte tenu des diverses explications théoriques proposées par la littérature actuelle, nous prédisons que les exercices d'intensités modérées à élevées auront un impact délétère plus important que ceux d'intensité légère à modérée. D'autre part, les conditions reposant davantage sur l'intégrité des lobes frontaux (i.e. conditions de contrôle exécutif) seront négativement altérées pendant les exercices aigus. Finalement, les individus présentant une meilleure capacité cardiorespiratoire devraient être moins sensibles aux effets délétères des exercices aigus sur la cognition que ceux moins en forme. Quant aux résultats à la brève batterie neuropsychologique, nous ne nous attendions qu'à peu de différences entre les groupes si ce n'est d'une plus grande vitesse de traitement de l'information chez les jeunes adultes plus en forme. Cette étude est présentée au Chapitre I.

### 1.2. Effet de l'âge sur la relation entre l'exercice aigu et la cognition.

Peu d'études ont évalué la contribution de l'âge chronologique sur la relation entre exercice aigu et cognition. Le deuxième article de cette thèse avait donc pour objectif de comparer le rendement cognitif de jeunes adultes et d'ainés pendant la réalisation d'un exercice cardiovasculaire. Encore une fois, nous avons tenu en compte d'autres variables ayant déjà démontré leur influence sur cette relation soit : 1 — le processus cognitif évalué (i.e. exécutif versus non-exécutif) et 2 — le niveau de capacité cardiorespiratoire des participants. Nous avons également administré une brève batterie

de tests neuropsychologiques avant la séance expérimentale pour but de comparaison de départ entre les groupes de jeunes adultes et d'aînés. Cette dernière comportait les mêmes épreuves que dans la première étude. Cependant, notons que les personnes âgées ont également complété une épreuve de dépistage du fonctionnement cognitif général (Minimal state examination :MMSE) (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975). Par ailleurs, pour évaluer la symptomatologie dépressive, le Geriatric depression scale (GDS)(Yesavage et al., 1982) a été utilisé pour ce groupe d'âge.

### *1.2.1 Hypothèses de la deuxième étude*

Au repos, les aînés présentent généralement un rendement moindre que les jeunes adultes aux épreuves de contrôle exécutif. Ainsi, sur le plan des épreuves neuropsychologiques, nous nous attendons à ce que les jeunes adultes obtiennent des résultats supérieurs à ceux des aînés notamment en regard de la vitesse de traitement de l'information et les fonctions exécutives (i.e. flexibilité cognitive). D'autre part, pendant l'exercice, il serait juste de s'attendre à une moins bonne performance absolue des aînés comparativement aux jeunes adultes lors de la comparaison de leur rendement cognitif à des intensités fixes (i.e., à une intensité égale, les jeunes adultes devraient mieux performer que les aînés). Or, dans cette étude nous nous intéressons plutôt à savoir si une variation de l'intensité de l'exercice entraîne des modifications sur le plan du contrôle exécutif. Rappelons qu'un exercice intense entraîne une diminution équivalente de la  $\text{PaCO}_2$  chez les jeunes adultes et les aînés et que c'est ce phénomène qui serait associé à une diminution de la perfusion cérébrale au niveau des lobes frontaux. Par ailleurs, bien que l'on note une diminution du  $\text{VO}_2$  max avec l'âge, les niveaux d'intensités dans la deuxième étude de cette thèse sont relatifs (i.e., individualisés en fonction de leur propre capacité cardiorespiratoire) et non absolus (e.g., 80 W pour tous indépendamment de l'âge et du genre). Ainsi puisque le phénomène physiologique responsable de la diminution de la perfusion cérébrale (et hypothétiquement à une perturbation du contrôle exécutif) est similaire entre les deux groupes d'âge et que les niveaux d'intensités de l'exercice sont individualisés, nous ne nous attendons pas à observer de différences significatives entre les jeunes adultes et les aînés dans le rendement aux épreuves de contrôle exécutif lors de la variation de l'intensité de l'exercice (e.g., une augmentation de 20 % de l'intensité de l'exercice devrait entraîner, chez les deux groupes d'âge, une fluctuation proportionnelle du fonctionnement exécutif). En bref, il devrait y avoir

absence d'interaction entre l'âge et l'impact de l'intensité de l'exercice. Cette étude est présentée au Chapitre II.



## CHAPITRE I

### DECLINE IN EXECUTIVE CONTROL DURING ACUTE BOUTS OF EXERCISE AS A FUNCTION OF EXERCISE INTENSITY AND FITNESS LEVEL

Référence: Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain Cogn*, 81, 10-17.

Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise  
intensity and fitness level

Labelle, Véronique <sup>a,b</sup> ; Bosquet, Laurent <sup>c,d,1</sup>; Mekary, Saïd <sup>b,c</sup> and Bherer, Louis <sup>a,b\*</sup>.

*a* Département de Psychologie, Université du Québec à Montréal C.P. 8888 succursale  
Centre-ville, Montréal, QC, Canada, H3C 3P8.

*b* Centre de Recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal, 4565, chemin  
Queen Mary Montréal, QC, Canada, H3W 1W5.

*c* Département de Kinésiologie, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-  
ville Montréal, QC, Canada, H3C 3J7

*d* Faculté des sciences du sport, Université de Poitiers, 8, allée Jean Monnet, 86000  
Poitiers, France.

Email addresses: veronique.g.labelle@gmail.com, laurent.bosquet@univ-poitiers.fr,  
said.mekary@gmail.com, bherer.louis@uqam.ca

\* Corresponding author

Louis Bherer, PhD

Full Professor, Université du Québec à Montréal

C.P. 8888 succursale Centre-ville

Montréal, QC, Canada, H3C 3P8.

Phone: (514) 987-3000 ext.1944

Fax: (514) 987-7953

---

<sup>1</sup> Current address: Faculté des sciences du sport, Université de Poitiers, 8, allée Jean Monnet, 86000 Poitiers,  
France.

### Abstract

Studies on the effects of acute bouts of cardiovascular exercise on cognitive performances show contradictory findings due to methodological differences (e.g., exercise intensity, cognitive function assessed, participants' aerobic fitness level, etc). The present study assessed the acute effect of exercise intensity on cognition while controlling for key methodological confounds. Thirty-seven participants ( $M_{age}= 23.8$  years;  $SD=2.6$ ) completed a computerized modified-Stroop task (involving denomination, inhibition and switching conditions) while pedalling at 40, 60 and 80% of their peak power output (PPO). Results showed that in the switching condition of the task, error rates increased as a function of exercise intensity (from 60% to 80% of PPO) in all participants and that lower fit individuals showed increased reaction time variability. This suggests that acute bouts of cardiovascular exercise can momentarily alter executive control and increase performance instability in lower fit individuals.

*Keywords:* Cardiovascular exercise; Prefrontal lobes; Fitness; Young adults.

## Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level

### 1. Introduction

The effect of acute bouts of cardiovascular exercise on cognition has been a subject of increasing interest over the past few years. These studies can help understand the impact of physical efforts on cognition as required in many everyday life situations (e.g., housekeeping, home repairs, as well as some employment such as firefighters and construction workers). The ever advancing quest for better athletic performances, the valorisation of the sports industry as well as the evolution of neuroimaging equipment and techniques (Acevedo & Ekkekakis, 2006) also contribute to stimulate research in this field.

So far, studies on the effects of acute cardiovascular exercise on cognition have lead to inconclusive results. Some studies have shown that an acute bout of exercise can momentarily enhance cognitive performances (McGlynn et al., 1977; McMorris & Graydon, 1997; McMorris et al., 1999; McMorris et al., 2003; Pesce & Audiffren, 2011; Pesce et al., 2007), while others showed deleterious effects of exercise on cognition (Audiffren et al., 1998; Audiffren et al., 2009; Del Giorgio et al., 2010; Dietrich & Sparling, 2004; Mc Morris, Davranche, et al., 2009; McMorris & Keen, 1994; Pontifex & Hillman, 2007). Some studies have showed mixed results, with both beneficial and negative effects or no impact of exercise (Chmura et al., 1994; Davranche et al., 2009; Davranche & McMorris, 2009). Finally, some reports suggest that acute exercise exerts no effects on cognition (Fery et al., 1997). Theoretical explanations have been put forward to account for changes in cognitive performances during acute bouts of cardiovascular exercise. Cognitive-energetic models suggest an explanation for both positive and negative effects of exercise on cognition (Audiffren, 2009). Moderate duration exercise is thought to improve cognition either by increasing the amount of available resources (Kahneman, 1973) or by increasing arousal and/or activation (Humphreys & Revelle, 1984; Sanders, 1983). Given the limited nature of the brain's resources, the negative impact of exercise could be due to resources sharing between the exercise and the cognitive task (Hockey, 1997; Kahneman, 1973; Sanders, 1983).

In line with this view, the transient hypofrontality theory suggests that strenuous exercise causes a change in physiological state, which momentarily disrupts brain homeostasis. In reaction, the brain modifies its resources allocation. In fact, maintaining

high intensity physical exercise increases neural resources demand in some brain regions, which can reduce essential metabolic resources (e.g., oxygen and glucose) availability in other brain regions. According to this theory, the prefrontal cortex does not play a critical role in maintaining high intensity exercise and would therefore be massively affected by the reduced resources availability (Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Audiffren, 2011; Dietrich & Sparling, 2004).

Brain imaging studies partly support the transient hypofrontality theory and suggest that additional physiological mechanisms are involved. In fact, near infrared spectroscopy's (NIRS) studies generally show a decrease in oxygenation in the prefrontal lobes during intense exercise (Bhambhani et al., 2007; Ekkekakis, 2009). A possible explanation for this phenomenon is that at high intensities, hyperventilation causes a decrease in arterial carbon dioxide pressure ( $\text{PaCO}_2$ ) which in turn causes a constriction of cerebral blood vessels and ultimately a decrease in cerebral perfusion (Linkis et al., 1995). Consequently, acutely increasing exercise intensity should impair executive control, which relies on the functional integrity of the frontal cortex. Contemporary conceptions of executive control functions suggest that elementary mechanisms such as inhibition (i.e., inhibition of a salient response), switching (alternating mentally between sets of rules) and updating (information updating and monitoring in working memory) play a critical role in controlling and modulating other cognitive processes such as memory and reasoning (Levine et al., 2008; Miyake et al., 2000). However, few studies have distinguished these elementary mechanisms when assessing the effects of acute exercise on cognition.

Finally, some researchers suggest that neuroendocrinological changes could also be potential underpinnings of the effect of acute cardiovascular exercise on cognition via the influence of catecholamines (i.e., dopamine, noradrenaline and adrenaline) and cortisol. At high exercise intensities, an increase in cortisol level can lead to an important increase in arousal, which might then lead to impaired cognitive performances. The catecholamine increase can lead to a preferential activation of the limbic system at the expense of the prefrontal lobes and therefore cause a breakdown in performance in executive control tasks (McMorris, 2009).

Whether these explanations are complementary or not will necessitate additional empirical data. So far, even rigorous meta-analytic and narrative reviews of studies

assessing cognitive performances during acute bouts of cardiovascular exercise report contradictory findings (Brisswalter, Collardeau & Arcelin, 2002; Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris, Sproule, Turner & Hale, 2011; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986). For example, most of them state that the moment at which the cognitive task is performed (during, immediately after or after a delay following exercise) has an impact on cognition. Yet, others (Chang et al., 2012) claim the exact opposite and therefore run counter to most theories & hypotheses (e.g., THT) as well as many individual well structured empirical studies which have clearly predicted or shown differences in neurocognitive performances according to this variable.

Important methodological differences across studies can at least partly explain diverging results. A first methodological concern has to do with the various cognitive processes that have been tested during exercise. For example, Audiffren, Tomporowski & Zagrodnik (2008) and McMorris et al., (2003) have shown positive effects of acute exercise on processing speed using simple and choice reaction time tasks (RT) while others (Davranche & McMorris, 2009; McMorris et al., 2009; Pontifex & Hillman, 2007) have reported deleterious effects on inhibition tasks. Cognitive processes underlying the completion of the cognitive task thus appears a major factor that needs to be taken into account when studying the impact of acute bouts of cardiovascular exercise on cognitive performances.

A second methodological concern is the experimental design with regard to physical exercise. Some researches (McMorris et al., 2003; Paas & Adam, 1991) reported improvement in processing speed at high intensities during a continuous cardiovascular exercise. In other studies that included rest periods between bouts of exercise, processing speed was slower during exercise compared to rest (Audiffren et al., 1998). Therefore, even when the same cognitive process is being tested (e.g., processing speed), different experimental designs (e.g., whether baseline performances are assessed at rest or during exercise) can lead to diverging results.

The intensity at which exercise is performed is another source of confound across studies. Many studies assessed the effect of moderate exercise intensity on cognition, but few studies compared the impact of low and high intensity exercise (McMorris et al., 2011). Moreover, the index of exercise intensity greatly varies among studies: percentage of heart rate reserve, maximal heart rate ( $HR_{max}$ ), peak power output (PPO), maximal

oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$  max), lactate threshold, adrenaline threshold, ventilatory threshold, etc. Even among studies that used the same index (e.g.,  $HR_{max}$ ) (Dietrich & Sparling, 2004; Pontifex & Hillman, 2007), exercise intensity levels varies across studies (i.e., 70-80% vs. 60%, respectively).

Few studies have considered participants' aerobic fitness level as a potential confounding factor in the relationship between acute cardiovascular exercise and cognition (Pesce, 2009). This factor has been underlined in recent meta-analyses (Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris et al., 2011). Previous reviews also strongly recommended that aerobic fitness be measured and considered into the analyses (Brisswalter, et al., 2002; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986). In support for this, it has been observed that higher fit individuals show larger improvement in cognitive performances during high intensity exercise than lower fit individuals (Brisswalter, Legros & Delignières, 1994). Nevertheless, the moderating role that fitness level might have on the effect of acute exercise on cognition is not fully understood. Some evidence suggests that a high fitness level is associated with a maintained oxygen saturation level in the prefrontal cortex during high intensity exercise. In fact, despite a decrease in  $PaCO_2$ , oxygen ( $O_2$ ) saturation tends to increase in the prefrontal lobes of athletes during intense cycling (Nielsen et al., 1999). A recent review confirms this observation and suggests that the drop in oxygen values in the prefrontal cortex observed at very hard intensities is seen in untrained individuals. Therefore, this suggests that cognitive performances might be less impaired during high intensity exercise in higher fit individuals. Second, a difference in biochemical changes during moderate to intense exercise has also been hypothesized to explain the modulating effect of fitness level (Brisswalter, Arcelin, Audiffren & Delignières, 1997). In fact, urinary catecholamine concentration gets more important after the exercise in lower fit than in higher fit individuals (de Diego Acosta et al., 2001). As stated earlier, an important catecholamine secretion could preferentially activate the limbic system at the expense of the prefrontal lobes and therefore negatively affect cognitive performances in lower fit individuals. A third explanation combines the effect of fitness and emotional regulation. In fact, considering their scarce exposition to high intensity exercise and to the negative symptoms associated with it (i.e., hyperventilation and perhaps nausea) lower fit individual might be more anxious than their higher fit counterparts and therefore perform less well at higher intensities (McMorris, 2009). Even though these hypotheses still need

to be empirically tested, all three lead to the same prediction and suggest that a high fitness level could attenuate deleterious effects of intense cardiovascular exercise on cognition.

In sum, variability among studies limits definitive conclusion on the effect of acute cardiovascular exercise on cognitive functions. Sources of variability include exercise intensity, cognitive processes underlying task completion, experimental design as well as participants' aerobic fitness level. The primary goal of the present study was to assess effects of exercise intensity on cognition by comparing cognitive performances at different intensity levels (light, moderate and intense). The second aim was to assess the effect of exercise on cognition while taking into account key methodological factors by 1- using a computerized modified-Stroop task that allows to dissociate executive control from processing speed within the same task and 2- controlling for aerobic fitness level (based on a direct measure of  $\dot{V}O_2$  max).

### 1.1. Hypotheses

Based on the brief literature review, we expect that higher intensities should yield greater impact on cognition than lower workloads. Moreover, tasks relying more heavily on the prefrontal lobes (executive control condition) will be negatively altered during acute bouts of cardiovascular exercises. Finally, higher fit individuals should exhibit less deleterious effects than their lower fit counterparts.

## 2. Method

### 2.1. Participants

Thirty-seven participants (19 men and 18 women), aged 20-29 ( $M= 23.8$ ;  $SD=2.6$ ) completed the study. As assessed by the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) (Thomas, Reading, & Shephard, 1992), none of the participants reported physical contraindications restraining them to complete the study. No participants had undergone major surgery 6 months prior to the experiment, had a past or present history of alcohol or drug abuse, presented mood or neurological problems at the time of the study and were taking medication known to affect cognition. All participants gave their informed consent prior to engagement in the study, which was approved by the ethics committee of the research center. Following a maximal graded exercise test, participants were classified as either higher or lower fit according to  $\dot{V}O_2$  max norms



(Shvartz & Reibold, 1990). Higher fit participants had greater PPO,  $F(1, 35) = 16.1$ ,  $p < .001$ , and  $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ,  $F(1, 35) = 32.9$ ,  $p < .001$ , than their lower fit counterparts. Fitness groups did not differ in age,  $F(1, 35) = 2.7$ ,  $p = .11$ , years of education,  $F(1, 35) < 1$ ,  $p = .55$ , body mass index,  $F(1, 35) < 1$ ,  $p = .62$ , and gender,  $U = 153.5$ ,  $p = .61$ . Table 1 shows participant's demographic and physiological data according to their fitness group. Participants completed a neuropsychological battery that assessed perceptual abilities and processing speed (i.e., Trail making test part A and WAIS-III Substitution subtest), short term and working memory (i.e., WAIS-III Digit span forward and backwards), abstraction capacities (i.e., WAIS-III Similarities subtest) (Wechsler, 1997) and cognitive flexibility (i.e., Trail making test part B)(AITB, 1944). They also completed a few questionnaires concerning depression symptomatology (i.e., Beck Depression Inventory 2<sup>nd</sup> edition -BDI-II) (Beck et al., 1996), quality of sleep (i.e., Pittsburgh Sleep Quality Index -PSQI) (Buysse et al., 1989), participation in cognitively stimulating activities (Wilson et al., 2003) and self-reported physical activities (i.e., Modifiable Activity Questionnaire-MAQ) (Vuillemin et al., 2000). Table 2 shows neuropsychological data and mood assessment data in both fitness groups. Only the Digit symbol substitution test,  $F(1, 35) = 9.5$ ,  $p < .001$ , and the Trail making test Part A,  $F(1, 35) = 6.0$ ,  $p = .02$ , showed group differences, which suggests that apart from psychomotor speed difference, they were no appreciable differences between higher and lower fit individuals on cognition, psychological and health indicators.

## 2.2. Procedure and material

All participants completed three sessions and were asked to refrain from training and to avoid caffeine and alcohol consumption 12 hours prior to testing. They were also asked not to eat 3 hours before sessions 2 and 3. A minimum of 72 hours separated sessions 2 and 3. On the first session, participants completed the neuropsychological assessment as well as the familiarization blocks and one practice block of the computerized modified-Stroop task. The second session consisted of a maximal graded exercise test performed on a cycle ergometer (Lode Corival recumbent ergometer, Groningen, The Netherlands) in order to assess cardiorespiratory fitness as indexed by  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  ( $\text{ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ). Upon their third visit, participants completed the familiarization blocks, one practice block as well as the three experimental blocks during acute bouts of constant intensity cardiovascular exercise.

### 2.2.1. Maximal graded exercise test.

Oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ , in  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) was determined continuously on a 30-s basis using an automated cardiopulmonary exercise system (Moxus, AEI Technologies, Naperville, IL). Gas analyzers were calibrated before each test using a gas mixture of known concentrations (16 and 21%  $O_2$  and .03 and 4%  $CO_2$ ). The turbine was calibrated before each test using a 3-liter syringe at several flow rates. Once the mask was installed on the participant's face, they sat on the cycle ergometer for at least 5 minutes before the test in order to familiarize with the apparatus. Initial workload was set at 0.75 or 1 Watt per kilogram (kg) of body weight according to the participant's physical activity level and increased by 15 W every minute until voluntary exhaustion. Strong verbal encouragement was given throughout the test. To ensure attainment of  $\dot{V}O_{2\text{ max}}$ , participants then immediately completed a verification protocol inspired from earlier work (Rossiter, Kowalchuk, & Whipp, 2006). After a recovery period of 5 minutes at 20 W, participants had to perform a verification phase consisting in a time to exhaustion at a workload of 15 W above the last stage completed. The highest  $\dot{V}O_2$  and corresponding power output over a 30-s period during the first part of the test or during the verification phase were considered as the maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2\text{ max}}$ , in  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and PPO (W). Participants were assigned to either a higher or lower fit group based on age- and gender-referenced  $\dot{V}O_{2\text{ max}}$  norms (Shvartz & Reibold, 1990).

### 2.2.2. Submaximal bouts of constant intensity cardiovascular exercise.

Each participant performed three bouts of constant intensity exercise at 40, 60 and 80% of its individual's PPO with a 17 inches Ciara laptop located approximately 60 cm in front of them. Intensity levels were counterbalanced across participants according to a 3x3 Latin square design in order to avoid a systematic association of exercise intensity effects with potential order effect (Winer, 1971). The first participant to enter the study had the first sequence (i.e., 40, 60 and 80%), the second had the second sequence (i.e., 60, 80 and 40%) and the third participant completed the third sequence (i.e., 80, 40 and 60%). Preliminary analyses revealed that sequence had no substantial effect on the results reported in the present study with regard to the effect of exercise on executive control. At each level, power output had to be maintained for 6.5 minutes. Pilot data have suggested that this is an optimal duration and that longer interval would have

been difficult to sustain at 80% PPO for some participants. The electronically braked cycle ergometer automatically adjusted the resistance as a function of pedalling rate to insure a constant power output. The computerized modified-Stroop task was performed from the third minute until the end of each test. It was considered that the first 3 minutes were necessary to reach a  $\dot{V}O_2$  steady-state. Each test was separated from the other by a 20-min recovery period consisting in a 2-min active recovery phase at 20% of PPO and an 18-min passive recovery phase during which participants remained seated on the cycle ergometer without pedalling. Participants completed the questionnaire on lifetime participation in cognitively stimulating activities (Wilson et al., 2003) during the passive recovery phase and were encouraged to drink water between exercise bouts in order to avoid dehydration. The choice of this recovery period was essentially based on previous studies that have clearly shown that acute effects of cardiovascular exercise on cognition attenuate very rapidly few minutes after cessation (Audiffren et al., 2008, 2009) despite possible ongoing physical recovery. Therefore, it is generally accepted that despite potential residual physiological effects of exercise bout, they are not salient enough to modify cognition.

### 2.2.3. Computerised modified-Stroop task.

The cognitive task was programmed on E-Prime 2.0 (Pittsburgh, USA). The computerised modified-Stroop task required the participant to indicate the color (blue or red) of items (rectangles or words) that occurred on the screen. Participants provided their answers by pressing USB controlled response buttons fixed inside each handlebar of the cycle ergometer. Participants were instructed to answer as fast as possible. The familiarization block allowed participants to learn the assignation of the response buttons located inside each handlebar. They completed 40 trials of color denomination (i.e., coloured rectangles in either blue or red ink). During these trials, circles (blue in the bottom right portion and red in the bottom left portion of the screen) were presented as cues indicating the position of the response buttons. Then, participants completed 40 additional color denomination trials without cues.

Participants also completed a practice block composed of three consecutive conditions: Denomination (20 trials), Inhibition (20 trials) and Switching (40 trials). In the denomination condition participants had to indicate the ink color (i.e., blue or red) of neutral words (i.e., When and Then). In the inhibition condition, color-words (i.e., blue or red) were presented in a non-matching ink color (i.e., blue or red). Participants had to

indicate the color of the ink and ignore the meaning of the color-word (i.e., for RED written in a blue ink color, the correct answer is blue). In the switching condition, participants had to either indicate the ink color of the color-word or to read the word when it was presented in a box. The switching condition involved 32 non-switch trials (16 inhibition trials and 16 reading trials). These trials were repeated for 3 to 5 times before a change in rule (i.e., switch trial) occurred. In the remaining 8 trials (switch-trials) participants had to switch instruction between reading (i.e., a word presented in a box) and color naming (i.e., a word presented alone) or the reverse. Stimuli were presented following three different pseudo-randomised lists.

The experimental blocks were identical to the practice block (i.e., 20 trials in the color-word denomination condition, 20 trials in the inhibition condition and 40 trials in the switching condition) and were completed at each of the three exercise intensity levels (i.e., 40, 60 and 80% of PPO).

### 2.3. Statistical analyses

Dependent variables of interest were reaction time (RT: time taken from the appearance of the stimulus to the completion of the answer by the participant), error rate (% errors) and intra-individual coefficient of variability in RTs ( $ICV = \text{Intra-individual Standard Deviation} / \text{individual mean} * 100$ ). The first trial of each condition (i.e., denomination, inhibition and switching) was removed from the data set as primary analysis revealed an elevated error rate for those trials. Each trial exceeding three standard deviations from the participant's mean RT for each condition was also removed from the data set. In the switching condition, RTs of the reading non-switch trial were longer than the inhibition non-switch trials  $F(1, 36) = 9.0, p = .01$ . Therefore, they were analysed separately. This unexpected outcome can be due to practice effect of the inhibition task and the relative novelty of the reading task. In fact, participants never completed a full block of reading trials alone in this computerized modified-Stroop task. For the switch trials, RT was equivalent in reading or inhibition trials,  $F(1, 72) < 1, n.s.$ , so they were pooled together. ANOVAs were performed with Fitness group (lower vs. higher fit) as between subject factor and exercise Intensity (40, 60, 80) as within subject factor on each Stroop trial type (i.e., denomination trials, inhibition trials, reading non-switch trials, inhibition non-switch trials and switch trials) and each dependent variable (i.e., mean RTs, % error and ICV). Analyses were performed with SPSS 15.0. Alpha level

was set at .05. If violation of sphericity occurred, Greenhouse-Geiser correction was applied.

### 3. Results

#### 3.1. Intensity effect

There was no effect of intensity in the denomination and inhibition condition on RTs (respectively,  $F(2, 70) < 1$ , n.s.;  $F(2, 70) = 1.6$ , n.s., error rate (respectively,  $F(2, 70) = 1.0$ , n.s.,  $F(2, 70) < 1$ , n.s.) and ICV (respectively,  $F(2, 70) < 1$ , n.s.;  $F(2, 70) < 1$ , n.s.). In the switching condition, there was a main effect of intensity on error rate in the reading non-switch trials,  $F(2, 70) = 5.8$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .14$ , due to an increase between the 60% and 80% PPO,  $F(1, 35) = 6.7$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .11$  (repeated-contrast), and on error rate in the switch trials,  $F(2, 70) = 5.0$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .12$ , also due to an increase between the 60% and 80% PPO,  $F(1, 35) = 6.4$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .07$  (repeated-contrast). There was no intensity effect on error rate in the inhibition non-switch trials,  $F(2, 70) < 1$ , n.s. Figure 1 shows change in error rates as a function of exercise intensity in the switching condition. There was no intensity effect on RTs and ICV in the switching condition.

#### 3.2. Fitness level x Intensity interaction.

A Fitness x Intensity interaction was observed in the inhibition non-switch trials of the switching condition for the ICV,  $F(2, 70) = 3.2$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .08$ . Repeated-contrasts indicated that the interaction was significant between 60% and 80% PPO,  $F(1, 35) = 4.8$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .07$ , due to an increase in ICV in the lower fit group only,  $F(1, 35) = 5.12$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .07$  as revealed by simple effect analyses (ANOVA for each fitness group with intensity as within subject factor). Figure 2 shows change in coefficient of variability (ICV) in the inhibition non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity and fitness level. There was no Intensity x Fitness interaction effect in RT and error rates.

### 4. Discussion

The primary goal of this study was to examine the relationship between intensity of acute bouts of cardiovascular exercise and executive control in young adults, while controlling for key methodological confounds identified in the literature, namely the cognitive processes being assessed and participants' aerobic fitness level. It was hypothesised that during intense cardiovascular exercise, cognitive processes relying on



the prefrontal lobes would be disrupted (Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Audiffren, 2011; Dietrich & Sparling, 2004). This phenomenon should be more pronounced at higher intensity levels (Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Sparling, 2004; McMorris, 2009) and for lower fit individuals (Brisswalter et al., 1997; de Diego Acosta et al., 2001; McMorris, 2009; Nielsen et al., 1999). These hypotheses were supported by the results.

Acute bouts of constant intensity cardiovascular exercise impacted on cognitive performances but this effect was moderated by exercise intensity. In fact, exercise had no appreciable effect on cognition between light (40% PPO) and moderate (60 % PPO) exercise. Yet, this study showed deterioration of cognitive performance from moderate (60% PPO) to intense (80% PPO) exercise. This result is in line with the transient hypofrontality theory (Del Giorgio et al., 2010; Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Audiffren, 2011; Dietrich & Sparling, 2004). Indeed, the completion of higher intensity exercises elicits greater resources demands on some motor areas. Therefore, considering the limited nature of the brain's resources, cognitive processes relying on other brain areas that are not critical to maintenance of high intensity exercise (i.e., prefrontal lobes) are expected to be disrupted. Studies that compared cognitive performance at various intensity levels during exercise also showed similar results (McMorris et al., 2009; McMorris & Keen, 1994).

Results of the present study showed no significant impact of acute cardiovascular exercise on the non-executive (denomination) condition. This result might seem surprising as some models have previously suggested that moderate exercise can facilitate cognition through an increase in either the amount of available resources (Kahneman, 1973) or arousal /activation (Dietrich & Audiffren, 2011; Humphreys & Revelle, 1984; Sanders, 1983). In our study, the denomination condition was always performed first. Therefore, it is not impossible that the shorter period of exercise before the completion of this condition might have contributed to this phenomenon. However, it must be reminded that empirical data remain equivocal. Some narrative reviews (McMorris & Graydon, 2000) have suggested that speed of information processing was facilitated from rest to the adrenaline threshold, but was unchanged if the intensity was further increased up to maximal capacities. However, the authors underlined the fact that this conclusion needed to be interpreted cautiously (i.e., phenomenon observed in only 2 out of the 23 studies). Furthermore, it must be reminded that this work concerned the cognitive effects observed during incremental exercise (i.e., continuous protocol without pauses between exercise

intensity changes). As stated previously, different experimental designs lead to diverging effects on cognition. In the same line of thought, meta-analyses (J. L. Etner et al., 1997) and reviews (Tomprowski, 2003) have suggested that acute bouts of exercise could facilitate certain aspects of information processing. However, these conclusions must also be interpreted warily since most of the studies included in these meta-analyses and reviews significantly differed on a methodological point of view (e.g., experimental designs differed among studies with some evaluating pre-post exercise effects combined with others assessing effects during exercise, etc.). Therefore, considering the important influence of many confounding factors mentioned previously, we believe that pooling these different studies together may have lead inaccurate conclusions. Whether acute bouts of exercise do have an impact (positive or negative) on non-executive processes still seems a matter of debate. Further empirical studies taking into account confounding factors would help explain the complex effects of acute exercise on neurocognitive functions.

However, the present study supports the notion that acute bouts of cardiovascular exercise would have a greater impact on cognitive processes relying on the prefrontal lobes. Results showed detrimental effects of acute cardiovascular exercise in the switching condition of the computerized modified-Stroop task (in the reading non-switch and the switch trials) in all participants when intensity rose from moderate (60% PPO) to intense (80% PPO). This is in line with most theories and hypotheses (i.e., transient hypofrontality theory and the neuroendocrinological hypotheses). In fact, switching abilities, which are thought to rely on the integrity of the frontal lobes (Levine et al., 2008; Miyake et al., 2000), were disrupted when exercise became particularly intense. To our knowledge, this is the first study to assess switching abilities during bouts of cardiovascular exercise of varied intensity levels in young adults. Results suggest that tasks requiring the involvement of the prefrontal lobes are more likely to be disrupted by acute exercise.

We did not find an impact of intensity or participants' fitness level in the inhibition condition alone. This differs from results obtained by McMorris et al., (2009) that showed poorer performances at 80% than at 50% maximum aerobic power in a modified flanker task. Diverging results could be due to task demands. In fact, in their experiment, participants not only had to juggle with four response alternatives (i.e., blue, yellow, red and green) but also had to remember the location of each response choice

(i.e., press the right button if the response is blue or yellow; press the left button if the response is red or green). According to Stuss (2006) and Stuss & Alexander (2000), increased task complexity elicits more frontal lobes regions involvement. According to the transient hypofrontality theory, fewer resources are allocated to the prefrontal lobes during an intense exercise. Therefore, it is possible that the task used by McMorris et al. (2009) had put extra demands on the prefrontal lobes compared to the task used in the present study.

Finally, assessment of aerobic fitness levels also revealed promising findings. In fact fitness group differences were observed in the non-switch inhibition trials of the switching condition. Lower fit individuals showed more variable RTs than their higher fit counterparts when intensity rose from 60 to 80% PPO. Such an increase in intra-individual variability can be due to diminished attentional/executive efficiency (Hultsch, Strauss, Hunter, & MacDonald, 2008) or, in other words, a shortfall in top-down control (Stuss & Binns, 2008). In fact, the frontal lobes together with the cerebellum are key areas related to the maintenance of performance consistency (Stuss & Binns, 2008). Once again, these results are in line with the transient hypofrontality theory (Del Giorno et al., 2010; Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Audiffren, 2011; Dietrich & Sparling, 2004) as well as the neuroendocrinological hypothesis (McMorris, 2009), according to which functions relying on the prefrontal lobes are negatively affected by acute cardiovascular exercise and particularly more intense exercise. These results are also in line with the cardiovascular fitness hypothesis as the intensity effect was only shown in lower fit individuals (increase in intra-individual variability). One possible explanation why fitness differences were observed in this dependant variable only might be linked to cognitive reserve. In fact, even when confronted with a demanding task, younger adults usually show an efficient utilization of their cognitive reserve network (Stern, 2009). Therefore, if one wants to detect even slight differences in their performances, it is possible that more subtle analyses such as ICV might be necessary. The inclusion of this analysis might therefore be interesting in further studies assessing cognition of younger adults during exercise. If we refer to the possible aetiologies mentioned previously, the poorer performance of lower fit individuals could be explained in three ways. Either by a steeper decrease in blood O<sub>2</sub> saturation and/or metabolites in the frontal lobe regions (Nielsen et al., 1999; Rooks et al., 2010), by an important increase in cortisol and/or catecholamine concentrations (de Diego Acosta et al., 2001) or by a strong emotional reaction (i.e.,



stress) to intense exercise (McMorris, 2009). As stated earlier, the greater task complexity of this condition in the present study compared to the inhibition condition alone might explain why effects were seen in this condition and not the latter one.

One limitation of this study concerns the difficulty to distinguish if the results seen in the inhibition conditions were rather linked to task complexity or to the precise cognitive process per se. In fact, we observed detrimental effects of acute cardiovascular exercise in the non-switch inhibition trials but found no impact in the inhibition condition alone. Also, as stated earlier, a more complex inhibition task (i.e., modified flanker task) showed a poorer performance at 80% than at 50% maximum aerobic power (MAP) (McMorris et al., 2009). One study showed the interplay between task difficulty and expertise (i.e. expert soccer players and fit controls) and suggests that expertise can moderate the impact of acute exercise on visual attention (Pesce et al., 2007). Future studies using tasks that measure the same cognitive process (e.g., inhibition) at variable degree of difficulty within a same experimental frame would help disentangle the moderating effect of task difficulty on the relationship between acute exercise and cognition.

## 5. Conclusion

Results of this study indicate that both lower and higher fit young adults exhibit a difficulty to switch attention between two sets of rules while performing a cardiovascular exercise that goes from moderate to high intensity. Moreover, when compared to their higher fit counterparts, lower fit individuals show instability in performance during an inhibition task during high intensity exercise.

In sum, methodological factors such as the cognitive processes being assessed, participants' aerobic fitness level and exercise intensity should be considered in future studies looking at the effect of acute exercise on cognition. Various models and theories were put forward to explain the relationship between acute cardiovascular bouts of exercise and cognition. Yet, the exact aetiology of the underpinnings of this relationship still remains unclear. Future studies should consider hemodynamics, neuroendocrinological and emotional changes that occur during acute bouts of cardiovascular exercise together with behavioural performances in order to deepen our knowledge about this relationship. Finally, the relationship between acute cardiovascular

exercise and cognition should be explored with various populations since actual research has essentially considered younger adult populations

*Acknowledgments/Role of the funding source*

Authors wished to thank all of the participants who completed this study. Louis Bherer is supported by the Canadian research chair program and Véronique Labelle is supported by a fellowship from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR- Institutes of aging).

## References

- Acevedo, E. O., & Ekkekakis, P. (2006). *Psychobiology of physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- AITB. (1944). Army Individual Test Battery, Manual of directions and scoring. In. War Department, Adjutant General's Office, Washington, DC.
- Audiffren, M. (2009). Acute exercise and psychological functions: a cognitive-energetic approach. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 3-39). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Audiffren, M., Brisswalter, J., Brandet, J. P., & Bosquet, L. (1998). Coût attentionnel d'une tâche de pédalage en fonction de l'intensité de l'exercice [The relation of exercise intensity to attention deficits: analysis of a cycling task]. *Science & Sports, 13*, 81-83.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychol (Amst), 129*, 410-419.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2009). Acute aerobic exercise and information processing: modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychol (Amst), 132*, 85-95.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). *Manual for Beck Depression Inventory II (BDI-II)*. . San Antonio, TX.: The Psychology Corporation.
- Bhambhani, Y., Malik, R., & Mookerjee, S. (2007). Cerebral oxygenation declines at exercise intensities above the respiratory compensation threshold. *Respir Physiol Neurobiol, 156*, 196-202.
- Brisswalter, J., Arcelin, R., Audiffren, M., & Delignieres, D. (1997). Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. *Percept Mot Skills, 85*, 1019-1027.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & Arcelin, R. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med, 32*, 555-566.
- Brisswalter, J., Legros, P. & Delignières, D. (1994). Interactions entre processus cognitifs et physiologiques: Effet du niveau d'effort et du niveau de condition physique des sujets. *Science & Motricité, 23*, 25-31.

- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*, *28*, 193-213.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res*, *1453*, 87-101.
- Chmura, J., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int J Sports Med*, *15*, 172-176.
- Davranche, K., Hall, B., & McMorris, T. (2009). Effect of acute exercise on cognitive control required during an Eriksen flanker task. *J Sport Exerc Psychol*, *31*, 628-639.
- Davranche, K., & McMorris, T. (2009). Specific effects of acute moderate exercise on cognitive control. *Brain Cogn*, *69*, 565-570.
- de Diego Acosta, A. M., Garcia, J. C., Fernandez-Pastor, V. J., Peran, S., Ruiz, M., & Guirado, F. (2001). Influence of fitness on the integrated neuroendocrine response to aerobic exercise until exhaustion. *J Physiol Biochem*, *57*, 313-320.
- Del Giorno, J. M., Hall, E. E., O'Leary, K. C., Bixby, W. R., & Miller, P. C. (2010). Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. *J Sport Exerc Psychol*, *32*, 312-323.
- Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Res*, *145*, 79-83.
- Dietrich, A. (2009). The transient hypofrontality theory and its implications for emotion and cognition. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 69-90). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neurosci Biobehav Rev*, *35*, 1305-1325.
- Dietrich, A., & Sparling, P. B. (2004). Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain Cogn*, *55*, 516-524.
- Ekkekakis, P. (2009). Illuminating the black box: investigating prefrontal cortical hemodynamics during exercise with near-infrared spectroscopy. *J Sport Exerc Psychol*, *31*, 505-553.

- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: A Meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 19*, 249-277.
- Fery, Y. A., Ferry, A., Vom Hofe, A., & Rieu, M. (1997). Effect of physical exhaustion on cognitive functioning. *Percept Mot Skills, 84*, 291-298.
- Hockey, G. R. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload; a cognitive-energetical framework. *Biol Psychol, 45*, 73-93.
- Hultsch, D. F., Strauss, E., Hunter, M. A., & MacDonald, S. W. S. (2008). Intraindividual variability, Cognition, and Aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (3rd ed., pp. 491-556). New York, NY: Psychology Press.
- Humphreys, M. S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: a theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychol Rev, 91*, 153-184.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res, 1341*, 12-24.
- Levine, B., Turner, G. R., & Stuss, D. T. (2008). Rehabilitation of frontal lobe functions. In D. T. Stuss, G. Winocur & I. H. Robertson (Eds.), *Cognitive Neurorehabilitation: Evidence and application*. New York: Cambridge University press.
- Linkis, P., Jorgensen, L. G., Olesen, H. L., Madsen, P. L., Lassen, N. A., & Secher, N. H. (1995). Dynamic exercise enhances regional cerebral artery mean flow velocity. *J Appl Physiol, 78*, 12-16.
- McGlynn, G. H., Laughlin, N.T. & Bender, V.L. (1977). Effect of strenuous to exhaustive exercise on a discrimination task. *Percept Mot Skills, 44*, 1139-1147.
- McMorris, T. (2009). Exercise and cognitive function: a neuroendocrinological explanation. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 41-68). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- McMorris, T., Davranche, K., Jones, G., Hall, B., Corbett, J., & Minter, C. (2009). Acute incremental exercise, performance of a central executive task, and

- sympathoadrenal system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity. *Int J Psychophysiol*, 73, 334-340.
- McMorris, T., & Graydon, J. (1997). The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests. *J Sports Sci*, 15, 459-468.
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *Int. J. Sport Psychol.*, 31, 66-81.
- McMorris, T., & Keen, P. (1994). Effect of exercise on simple reaction times of recreational athletes. *Percept Mot Skills*, 78, 123-130.
- McMorris, T., Myers, S., MacGillivray, W. W., Sexsmith, J. R., Fallowfield, J., Graydon, J., & Forster, D. (1999). Exercise, plasma catecholamine concentrations and decision-making performance of soccer players on a soccer-specific test. *J Sports Sci*, 17, 667-676.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiol Behav*, 102, 421-428.
- McMorris, T., Tallon, M., Williams, C., Sproule, J., Draper, S., Swain, J., Potter, J., & Clayton, N. (2003). Incremental exercise, plasma concentrations of catecholamines, reaction time, and motor time during performance of a noncompatible choice response time task. *Percept Mot Skills*, 97, 590-604.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol*, 41, 49-100.
- Nielsen, H. B., Boushel, R., Madsen, P., & Secher, N. H. (1999). Cerebral desaturation during exercise reversed by O<sub>2</sub> supplementation. *Am J Physiol*, 277, H1045-1052.
- Paas, F. G., & Adam, J. J. (1991). Human information processing during physical exercise. *Ergonomics*, 34, 1385-1397.
- Pesce, C. (2009). An integrated approach to the effect of acute and chronic exercise on cognition: the linked role of individual and task constraints. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 213-226). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Pesce, C., & Audiffren, M. (2011). Does acute exercise switch off switch costs? A study with younger and older athletes. *J Sport Exerc Psychol*, 33, 609-626.



- Pesce, C., Tessitore, A., Casella, R., Pirritano, M., & Capranica, L. (2007). Focusing of visual attention at rest and during physical exercise in soccer players. *J Sports Sci*, 25, 1259-1270.
- Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2007). Neuroelectric and behavioral indices of interference control during acute cycling. *Clin Neurophysiol*, 118, 570-580.
- Rooks, C. R., Thom, N. J., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2010). Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Prog Neurobiol*, 92, 134-150.
- Rossiter, H. B., Kowalchuk, J. M., & Whipp, B. J. (2006). A test to establish maximum O<sub>2</sub> uptake despite no plateau in the O<sub>2</sub> uptake response to ramp incremental exercise. *J Appl Physiol*, 100, 764-770.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychol (Amst)*, 53, 61-97.
- Shvartz, E., & Reibold, R. C. (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat Space Environ Med*, 61, 3-11.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47, 2015-2028.
- Stuss, D. T. (2006). Frontal lobes and attention: processes and networks, fractionation and integration. *J Int Neuropsychol Soc*, 12, 261-271.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychol Res*, 63, 289-298.
- Stuss, D. T., & Binns, M. (2008). The patient as a moving target: the importance to rehabilitation of understanding variability. In D. T. Stuss, G. Winocur & I. H. Robertson (Eds.), *Cognitive Neurorehabilitation: Evidence and application*. New York: Cambridge University press.
- Thomas, S., Reading, J., & Shephard, R. J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci*, 17, 338-345.
- Tomprowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol (Amst)*, 112, 297-324.
- Tomprowski, P. D., & Ellis, N. R. (1986). Effects of Exercise on Cognitive Processes: A Review *Psychological Bulletin*, 99, 338-346.
- Vuillemin, A., Oppert, J. M., Guillemin, F., Essermeant, L., Fontvieille, A. M., Galan, P., Kriska, A. M., & Hercberg, S. (2000). Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 1119-1124.

- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale—3rd Edition (WAIS-3®)* San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wilson, R., Barnes, L., & Bennett, D. (2003). Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25, 634-642.
- Winer, B. J. (1971). *Statistical principles in experimental design* (2d ed.). New York ; Montreal: McGraw-Hill.



## Captions

*Figure 1.* Mean error rate as a function of exercise intensity in the switching, reading non-switch trials and inhibition non-switch trials of the switching condition.

*Figure 2.* Mean coefficient of variability (ICV) in the inhibition non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity in lower and higher fit participants.

Figure 1.

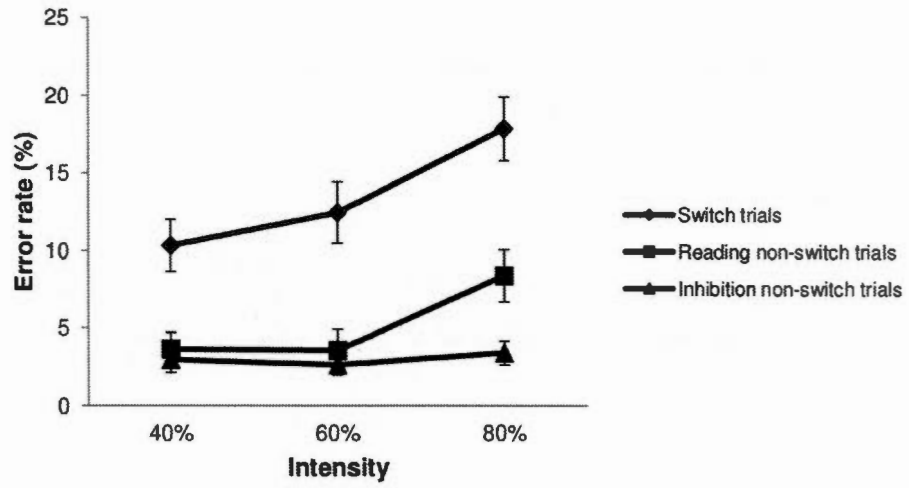


Figure 2.

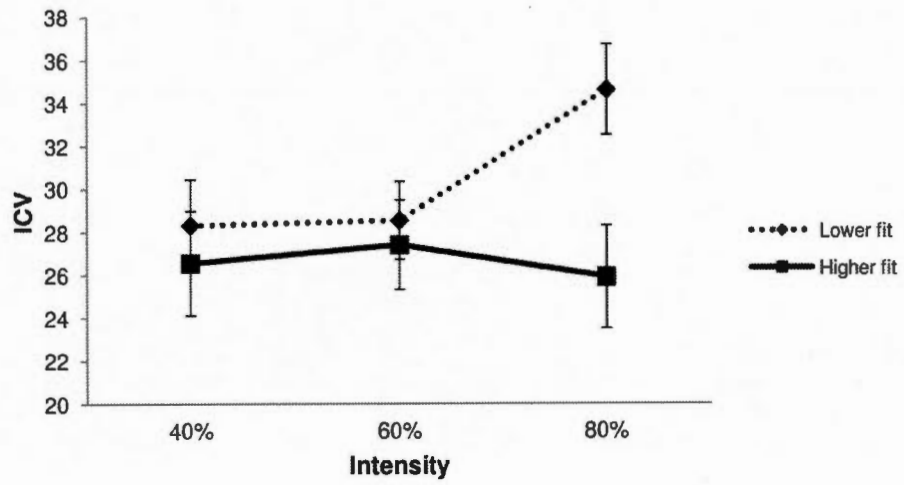


Table 1. Means and standard deviations of participant's demographic and physiological data in both fitness groups

	Higher fit (n = 16)		Lower Fit (n = 21)		p
	Mean	SD	Mean	SD	
Age (years)	24.56	2.45	23.19	2.56	n.s.
Gender (men/women)	9 (7)		10 (11)		n.s.
Education (years)	16.69	1.29	17.43	2.87	n.s.
Body mass index	23.36	2.17	23.85	3.53	n.s.
Maximum power output (W)	247.00	42.78	189.10	44.03	<.01
VO2 max (ml/min/kg)	50.62	7.86	38.33	5.16	<.01
Shvartz & Reibold (1990) categories	1-3		4-7		
Mean for men	2		5		
Mean for women	3		5		

Table 2. Means and standard deviations for the neuropsychological and mood assessment data in higher and lower fit participants

	Higher fit (n = 16)		Lower fit (n = 21)		P
	Mean	SD	Mean	SD	
<i>Perceptual abilities and speed of processing</i>					
Digit symbol substitution test (WAIS-III)	99,88	13,71	85,52	14,23	<.01
Trail A (seconds)	19,07	6,16	28,51	14,41	<.05
Trail A (err)	0,19	0,40	0,14	0,36	n.s.
<i>Short term and working memory</i>					
Digit span forward (WAIS-III)	7,5	1,16	7,05	1,50	n.s.
Digit span backwards (WAIS-III)	5,94	1,29	5,24	1,30	n.s.
<i>Verbal abilities and abstraction capacities</i>					
Similarities (WAIS-III)	26,75	3,22	24,9	3,46	n.s.
<i>Cognitive flexibility</i>					
Trail B (seconds)	47,49	16,54	54,54	15,42	n.s.
Trail B (err)	0,56	0,89	0,24	0,44	n.s.
<i>Depression symptomatology</i>					
BDI-II (Total score)	3,13	5,32	3,33	3,86	n.s.
<i>Sleep quality</i>					
PSQI (Total score)	7,31	5,91	7,14	5,59	n.s.
<i>Cognitive activity index</i>					
AVQ (Total)	62,75	9,48	68,14	9,05	n.s.
<i>Self-reported physical activity</i>					
MAQ (minutes)	12790,94	8882,69	9011,95	6206,89	n.s.
MAQ (METS)	77706,88	56963,51	49624,52	40192,92	n.s.

## CHAPITRE II

### FITNESS LEVEL MODERATES EXECUTIVE CONTROL DISRUPTION DURING EXERCISE REGARDLESS OF AGE.

Référence: Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., Vu, M. T. T., Smilovitch, M., & Bherer, L. (submitted). Fitness level moderates executive control disruption during exercise regardless of age. *Med Sci Sports Exerc.*

Fitness level moderate executive control disruption during exercise regardless of age

Running Title: EXECUTIVE CONTROL DISRUPTION DURING EXERCISE

Labelle, Véronique <sup>a,b\*</sup>, Bosquet., Laurent <sup>c,d</sup>, Mekary., Saïd <sup>b,c</sup>, Vu, Thien.Tuong.Minh <sup>b,f</sup>  
, Smilovitch, Mark <sup>b,g</sup>. & Bherer, Louis <sup>b,e</sup>.

*a Department of Psychology, University of Quebec in Montréal, POB 8888 Downtown subsidiary, Montreal, QC, Canada, H3C 3P8.*

*b Geriatric Institute of Montreal Research Center, 4565, Queen Mary road, Montreal, QC, Canada, H3W 1W5.*

*c Department of Kinesiology, University of Montreal, POB. 6128, Downtown subsidiary, Montreal, QC, Canada, H3C 3J7*

*d Faculty of Sports Science and MOVE Laboratory, University of Poitiers, 8, Jean Monne avenue, 86000 Poitiers, France.*

*e PERFORM Centre, Concordia University, Department of psychology, 7141 Sherbrooke West, Montreal, QC H4B 1R6*

*f University of Montreal Hospital Complex, 1058 St Denis street, Montreal, QC H2X 3J4*

*g Royal Victoria Hospital, 687 des Pins West avenue, Montreal Qc, H3A 1A1*

Email addresses: veronique.g.labelle@gmail.com, laurent.bosquet@univ-poitiers.fr,

said.mekary@gmail.com, thien.tuong.min.vu@umontreal.ca,

mark.smilovitch@mcgill.ca, louis.bherer@concordia.ca



\* Corresponding author

Véronique Labelle, M.Ps.

Department of Psychology

University of Quebec in Montreal,

POB 8888 Downtown subsidiary,

Montreal, QC, Canada,

H3C 3P8

Phone : (514) 987-4184

Fax: (514) 987-7953.

Conflicts of Interest and Source of Funding

Authors report no conflict of interest.

Louis Bherer is supported by the Canadian research chair program and Véronique Labelle

is supported by a fellowship from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR-

Institutes of aging).

## Abstract

Purpose: Assess the effect of exercise intensity, age and fitness levels on executive and non-executive cognitive tasks during exercise. Methods: Participants completed a computerized modified-Stroop task (including denomination, inhibition and switching conditions) while pedaling at 40%, 60% and 80 % of peak power output (PPO). Results: We showed that a bout of moderate (60% PPO) to high intensity (80% PPO) exercise was mainly associated with deleterious performance in executive component of the computerized modified-Stroop task (i.e. switching condition), especially in lower fit individuals ( $p < .01$ ). Age did not have a major effect on the relationship between acute cardiovascular exercise and cognition. Conclusion: Acute exercise can momentarily impair executive control equivalently in younger and older adults, but individual's fitness level moderates this relation.

*Keywords:* Acute exercise; Cardiovascular fitness; Prefrontal lobes; Stroop; Ageing.

Fitness levels moderate executive control disruption during exercise regardless of age.

## 1. Introduction

Paragraph number 1 Few studies have investigated cognition of older adults while performing acute bouts of cardiovascular exercise (21, 29). This issue is however of great interest in a context of public health, exercise prescription and daily living. In fact, (19) have shown that when confronted with a walking and a memory task simultaneously, older adults, as opposed to younger adults, neglected the cognitive task to the benefit of the physical task possibly in order to avoid falling. In this study, participants had the opportunity to overlook one of the ongoing tasks. However, one could wonder how participants would have reacted if they would have not been in the position of interrupting one of the two tasks. This study elicits concerns regarding safety as many everyday situations require concomitant solicitation of physical and cognitive functions at once (e.g. housekeeping, riding a bicycle while monitoring car circulation, etc.). Moreover, studies on the interaction between cognition and gross motor function like walking usually neglect the impact of effort intensity solicited by the motor task. This is a major concern when dealing with impaired population like older adults.

Paragraph number 2 Over the past decades, a growing body of literature has explored the relationship between acute bouts of cardiovascular exercises and cognition in younger adults. Some reported beneficial (e.g. 27), deleterious (e.g., 3, 9) , mixed (7) or simply no (e.g., 13) effect of acute exercise on cognition. Important methodological differences between studies may explain diverging results. Indeed meta-analytic and narrative reviews (e.g., 5, 26, 38) have suggested that there would be some moderators of the relationship between acute exercise and cognition such as the choice of a cognitive task (i.e. various cognitive processes involved), intensity and fitness levels as well as the

experimental design with regard to exercise protocol (i.e. incremental exercise vs. acute bouts separated by pauses). However, it is important to underline the fact that even rigorous meta-analytic and narrative reviews of studies assessing cognitive performances during acute bouts of cardiovascular exercise report contradictory findings (5, 6, 25, 26, 38). For example, most of them state that the moment at which the cognitive task is performed (during, immediately after or following a delay after exercise cessation) has an impact on cognition. Yet, others (6, 25) claim the exact opposite and therefore run counter to general hypotheses as well as to many individual well structured empirical studies which have clearly predicted or shown differences in neurocognitive performances according to this variable. As suggested by McMorris & Hale (25), these discrepancies would most certainly be attributable to differences in inclusion criteria. Therefore, it seems that our understanding of the obviously complex relationship between acute exercise and cognition still needs to be refined.

Paragraph number 3 Cognitive-energetic models, which are mainly based on general cognitive theories, have proposed potential explanations for both positive and deleterious effects of moderate cardiovascular exercise on cognition (1). Enhanced cognition during exercise could be linked to either increased available resources (16) or by increased arousal and/or activation (15, 33). On the other hand, deleterious effects of exercise on cognition could be due to resource availability as the brain has a limited amount of metabolic resources (i.e. glucose and oxygen) and therefore has to share its allocations (14, 16, 33). Although these models are interesting, they are generally not based on specific acute exercise empirical studies and do not take into account potential moderators of the relationship between acute exercise and cognition. More contemporary hypotheses, models and theories have put forward theoretical explanations based on

experimental data which can help clarify the role of some potential moderators of the relationship between acute exercise and cognition.

Paragraph number 4 The transient hypofrontality theory (THT) (9, 10), the reticular-activating hypofrontality (RAH) model (11), physiological evidence from brain imaging studies (12, 20) as well as neuroendocrinological hypotheses (22) all suggest that cognitive functions relying on the integrity of the frontal lobes would be impaired during high intensity exercise. The rationale of the THT and the RAH model is based on resource availability. In fact, the brain has a limited amount of metabolic resources (e.g. glucose and oxygen). Maintenance of high intensity exercise greatly taxes motor areas of the brain. Therefore, it is expected that brain areas not essential in the upholding of an intense physical effort, such as the prefrontal lobes, would be all the more impaired during exercise. Therefore, executive control functions, which rely on the integrity of these specific brain regions, should be particularly impaired. This prediction was supported by a recent study which showed a decline in executive control in younger adults during exercise (18). Contemporary conceptions of executive control suggest that it consists of several mechanisms such as inhibition (i.e. inhibition of a salient response), switching (i.e. alternating mentally between sets of rules) and updating (i.e. information updating and monitoring in working memory) which all contribute to modulate other higher order cognitive processes such as memory and reasoning (28). However, it is important to underline the fact that few studies have distinguished these elementary mechanisms when assessing the effects of acute exercise on cognition. Near infrared spectroscopy's (NIRS) studies generally support these statement as they show a decrease in oxygenation in the prefrontal lobes during intense exercise (12). This phenomenon would be attributable to hyperventilation. This would set in motion a cascade of physiological reactions where it would cause a decrease in arterial carbon dioxide

pressure ( $\text{PaCO}_2$ ), a constriction of cerebral blood vessels and ultimately a decrease in cerebral perfusion (20). Despite pulmonary changes that occur with ageing,  $\text{PaCO}_2$  is not affected in older adults due to maintained diffusion ability of  $\text{CO}_2$  (17). Therefore, the decrease in cerebral perfusion in the frontal lobes due to the decrease in  $\text{PaCO}_2$  should be equivalent among younger and older adults. Finally, neuroendocrinological hypotheses (22) suggest that secretion of catecholamines (i.e. dopamine, noradrenaline and adrenaline) during intense exercise would preferentially activate the limbic system at the expense of the prefrontal lobes and therefore cause a breakdown in performance in executive control tasks.

Paragraph number 5 Physiological evidence from NIRS's studies suggests that the drop in oxygen values in the prefrontal cortex observed at very hard intensities is only seen in untrained individuals, regardless of age (31). Therefore, this suggests that cognitive performances relying on the prefrontal lobes might be less impaired during high intensity exercise in higher fit younger and older individuals. This was also observed by a previous study (18) which showed increased variability in lower fit younger adults in the executive condition of a computerized modified-Stroop task. Moreover, with regards to the neuroendocrinological hypotheses, some studies have shown that urinary catecholamine concentration gets more important after the exercise in lower fit than in higher fit individuals (8). As mentioned previously, an important catecholamine secretion could preferentially activate the limbic system at the expense of the prefrontal lobes and therefore negatively affect cognitive performances in lower fit individuals.

Paragraph number 6 Few, if not any, studies or reviews have specifically studied the impact of exercise protocol (i.e. incremental exercise vs acute bouts separated by pauses) on the relationship between acute exercise and cognition. However, when comparing studies that tested the same cognitive process (e.g. processing speed) different

experimental designs (e.g., whether baseline performances are assessed at rest or during exercise) can partly explain diverging results. For example, some studies (27) reported improvement in processing speed at high intensities during a continuous cardiovascular exercise. However, in other studies that included rest periods between bouts of exercise, processing speed was slower during exercise compared to rest (2).

Paragraph number 7 Finally, as mentioned previously, very few studies have investigated the impact of age on cognition during an acute bout of cardiovascular exercise. Despite evident importance of this research field, we are aware of only two empirical studies that included older adults in their investigation of cognition during acute bouts of exercise. Using a counterbalanced experimental design including rest sessions, Pesce et al., (29) have shown that higher fit older adults had shorter RTs during exercise (i.e. 60% HHR) and seemed to show a better attentional control compared with sedentary individuals. A continuous protocol (rest, 30% Heart Rate Ratio (HRR) and 70% HRR performed continuously without rest periods between bouts) revealed reduced RT for both younger and older adults during exercise compared to rest in an interference condition of a modified-Stroop task. The authors also reported a facilitative effect of exercise at 70% HRR compared to 30% HRR (21). However, these results should be interpreted cautiously since the experimental design (i.e. conditions performed one after the other without counterbalancing measures) might have led to practice effects and therefore biased the data. Considering this brief overview of the literature, the main objective of the present study was to assess the influence exercise intensity levels on cognition while taking into account potential moderators of this relationship such as the type of cognitive task (i.e. executive vs non executive), fitness level (i.e. higher vs lower fit). We also aimed to assess the role of age (i.e. younger vs older adults) on this relationship.



Paragraph number 8 Assuming that intense exercise leads to a decrease in PaCO<sub>2</sub> which in turn causes a decrease in cerebral perfusion specifically in the frontal lobes, we hypothesized that tasks relying heavily on the frontal lobes (i.e., executive control conditions) will show greater impairment than non executive conditions and that these effects will be more pronounced in heavier workloads. Moreover, considering that the reduced oxygen values in the prefrontal cortex during exercise are mainly seen in untrained individuals, we believe that higher fit individuals will show less deleterious effects than their lower fit counterparts. Finally, very few studies have investigated the role of age on the relationship between acute exercise and cognition. Age-related deficit in frontal lobe function is well acknowledged and VO<sub>2</sub> max is known to decrease with age. Hence, one could expect that older adults will show poorer cognitive results than younger adults at a fixed intensity. However, considering the fact that the physiological mechanism (i.e., decrease in PaCO<sub>2</sub>) associated to the decrease in cerebral perfusion in the frontal lobes is thought to be the same in younger and older adults, that in the present experiment intensity levels are individualized according to each participant's physical fitness level (i.e., based on percentage of their own Peak power output) we hypothesized that variation of intensity levels would have equivalent impact on cognition in both younger and older adults.

### 3. Methods

#### 3.1. Participants

Paragraph number 9 Thirty-seven younger adults (19 men and 18 women), aged 20-29 as well as thirty-one older adults (17 men and 14 women), aged 60-70 completed the study. The research institution ethical review board approved the study and all participants provided written informed consent prior to engaging in the study. None of the

participants had undergone major surgery 6 months prior to the experiment, had a past or present history of alcohol or drug abuse, presented mood or neurological problems at the time of the study and were taking medication known to affect cognition. Both age groups completed the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) (37) before beginning the study. A medical (geriatric) evaluation was also undertaken with older participants before completing the study in order to insure safety. None of the participants showed physical contraindications restraining them to complete the study. Finally, every participant completed a brief neuropsychological evaluation. No one showed any indication of impaired cognitive/sensory function. Table 1 shows demographic and physical measures for both age and fitness groups. Table 2 depicts neuropsychological, mood, sleep, cognitive activity as well as self-reported physical activity assessment data.

### 3.2. Procedure and material

Paragraph number 10 Participants completed three sessions. They were asked not to train and to avoid caffeine and alcohol consumption 12 hours prior to testing. They were also asked to restrain from eating 3 hours before sessions 2 and 3. These last sessions were separated with a minimum of 72 hours. On the first session, participants completed the neuropsychological assessment as well as the familiarization blocks and one practice block of the computerized modified-Stroop task. On the second session, they completed a maximal graded exercise test performed on a cycle ergometer (Lode Corival recumbent ergometer, Groningen, The Netherlands) in order to assess cardiorespiratory fitness as indexed by  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  ( $\text{mL min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ). On the third and last session, participants completed the familiarization blocks, one practice block as well as the three experimental blocks during acute bouts of constant intensity cardiovascular exercise.

### 3.2.1. Maximal graded exercise test

Paragraph number 11 Oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ , in  $\text{mL min}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ) was determined continuously on a 30-s basis using an automated cardiopulmonary exercise system (Moxus, AEI Technologies, Naperville, IL). Gas analyzers were calibrated before each test using a gas mixture of known concentrations (16 and 21%  $O_2$  and .03 and 4%  $CO_2$ ). The turbine was calibrated before each test using a 3-liter syringe at several flow rates. Once the mask was installed on the participant's face, they sat on the cycle ergometer for at least 5 minutes before the test in order to familiarize with the apparatus. Initial workload was set at 0.50, 0.75 or 1 Watt per kilogram (kg) of body weight according to the participant's age and physical activity level and increased by 15 W every minute until voluntary exhaustion. Following a recovery period of 5 min at 20 W, participants performed a verification phase consisting in a time to exhaustion at a workload of 15 W above the last stage completed (32). The highest  $\dot{V}O_2$  and corresponding power output over a 30-s period during the first part of the test or during the verification phase were considered as the maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$ , in  $\text{mL min}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ) and PPO (W). Participants were assigned to either a higher or lower fit group based on age- and gender-referenced  $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$  norms (34).

### 3.2.2. Constant intensity exercise test.

Paragraph number 12 All participants performed three bouts of constant intensity exercise at 40%, 60% and 80% of PPO while facing a 17 inches laptop located 60 cm in front of them. Intensity levels were counterbalanced across participants according to a 3x3 Latin square design in order to avoid a systematic association of exercise intensity effects with potential order effect. The first participant to enter the study had the first sequence (i.e. 40 %, 60 % and 80%), the second had the second sequence (i.e. 60 %, 80 % and 40%) and the third participant completed the third sequence (i.e. 80 %, 40 % and

60%) and so on. At each level, power output had to be maintained for 6.5 min. Pilot data have suggested that this is an optimal duration and that longer interval would have been difficult to sustain at 80% PPO for some participants. The electronically braked cycle ergometer automatically adjusted the resistance as a function of pedalling rate to insure a constant power output. The computerized modified-Stroop task was performed from the third minute until the end of each test. It was considered that the first 3 minutes were necessary to reach a  $\dot{V}O_2$  steady-state. Each test was separated from the other by a 20-min recovery period consisting in a 2-min active recovery phase at 20% of PPO and an 18-min passive recovery phase during which participants remained seated on the cycle ergometer without pedalling. With the experimenter's guidance, they completed the questionnaire on lifetime participation in cognitively stimulating activities (39) during the passive recovery phase and were encouraged to drink water between exercise bouts in order to avoid dehydration. The choice of this recovery period was essentially based on previous studies that have clearly shown that acute effects of cardiovascular exercise on cognition attenuate very rapidly few minutes after cessation (3) despite possible ongoing physical recovery. Therefore, it is generally accepted that despite potential residual physiological effects of exercise bout, they are not salient enough to modify cognition.

### 3.2.3. Computerized modified-Stroop task.

Paragraph number 13 The cognitive task was programmed on E-Prime 2.0 (Pittsburgh, USA). The computerized modified-Stroop task required the participant to indicate the color (blue or red) of items (rectangles or words) that occurred on the screen. Participants provided their answers by pressing USB controlled response buttons fixed inside each handlebar of the cycle ergometer. Participants were instructed to answer as fast as possible. The familiarization block allowed participants to learn the assignation of the response buttons. They completed 40 trials of color denomination (i.e. colored rectangles

in either blue or red ink). During these trials, circles (blue in the bottom right portion and red in the bottom left portion of the screen) were presented as cues indicating the position of the response buttons. Then, participants completed 40 additional color denomination trials without cues. Participants also completed a practice block composed of three consecutive conditions: Denomination (20 trials), Inhibition (20 trials) and Switching (40 trials). In the denomination condition participants had to indicate the ink color (i.e., blue or red) of neutral words (i.e., When and Then). In the inhibition condition, color-words (i.e. blue or red) were presented in a non-matching ink color (i.e. blue or red). Participants had to indicate the color of the ink and ignore the meaning of the color-word (i.e. for RED written in a blue ink color, the correct answer is blue). In the switching condition, participants had to either indicate the ink color of the color-word or to read the word when it was presented in a box. The switching condition involved 32 non-switch trials (16 inhibition trials and 16 reading trials). These trials were repeated for 3-5 times before a change in rule (i.e. switch trial) occurred. In the remaining eight trials (switch-trials) participants had to switch instruction between reading (i.e. a word presented in a box) and color naming (i.e. a word presented alone) or the reverse. Stimuli were presented following three different pseudo-randomised lists.

Paragraph number 14 The experimental blocks were identical to the practice block (i.e. 20 trials in the color-word denomination condition, 20 trials in the inhibition condition and 40 trials in the switching condition) and were completed at each of the three exercise intensity levels (i.e. 40 %, 60 % and 80% of PPO).

### 3.3. Statistical analysis

Paragraph number 15 Dependent variables of interest were reaction time (RT) and error rate (% errors). The first trial of each condition (i.e. denomination, inhibition and switching) was removed from the data set as primary analysis revealed an elevated error

rate for those trials. Each trial exceeding three standard deviations from the participant's mean RT for each condition was also removed from the data set. This led to exclude less than 1% of the data. For the switch trials, RT was equivalent in reading or inhibition trials,  $F(1, 64) < 1$ , n.s., so they were pooled together. For the non-switch trials of the switching condition, there was a significant interaction between the type of trial (reading or inhibition) and age group (younger or older),  $F(1, 64) = 4.63$ ,  $p < .05$ . Whereas there were no differences between these trials for the older adults group,  $F(1, 58) < 1$ , n.s., younger adults showed longer RTs for the reading compared with the inhibition trials,  $F(1, 70) = 8.59$ ,  $p < .01$ . This unexpected outcome can be due to larger practice effect in younger adults in the inhibition task. Therefore, non-switch trials of the switching condition were analyzed separately. ANOVAs were performed with Age (younger vs. older adults) and Fitness (lower vs. higher fit) groups as between-subject factor and exercise intensity (40 %, 60 %, 80% PPO) as within-subject factor on each trial type (i.e. denomination trials, inhibition trials, reading non-switch trials, inhibition non-switch trials and switch trials) for both RT and error rates. Moreover, in all condition for which preliminary analyses showed sequence effects, sequence was added as a covariable. Similarly, when age-related slowing was observed, mean RT of the denomination condition of the second practice block completed at the experimental session was used as a covariable. Analyses were performed with SPSS 15.0. Alpha level was set at .05. If violation of sphericity occurred, Greenhouse-Geiser correction was applied. Repeated contrasts were used as post hoc analyses. Effect sizes ( $\eta^2$ ) are reported for significant effects or interactions. The interpretation scale of this effect size form goes as follow: Small ( $\eta^2 = .01$ ), Medium ( $\eta^2 = .09$ ), and large ( $\eta^2 = .25$ ) effect (36).



## 4. Results

### 4.1. Intensity effect

Paragraph number 16 There was no main intensity effect on RTs. Error rate did vary as a function of exercise intensity in the denomination condition,  $F(2, 124) = 10.72, p < .01, \eta^2 = .13$ , due to an increased error rate between 60 % and 80 % PPO,  $F(1, 62) = 12.71, p = .01, \eta^2 = .09$ . Figure 1 shows the increase in error rate for the denomination condition as a function of exercise intensity.

Paragraph number 17 An intensity effect was also found in the switching trials,  $F(2, 128) = 6.66, p < .01, \eta^2 = .09$ , also due to an increased error rate between 60% and 80 % PPO,  $F(1, 64) = 7.00, p = .01, \eta^2 = .04$ . Figure 2 shows the increase in error rate for the switching trials of the switching condition as a function of exercise intensity. There were no other intensity effects on error rates.

### 4.2. Age group x Intensity interaction

Paragraph number 18 There was no Age x Intensity interaction for RT. There was a significant Age x Intensity interaction in error rates in the reading trials of the switching condition,  $F(2, 126) = 3.09, p < .05, \eta^2 = .05$ , between 60 % and 80% PPO,  $F(1, 63) = 4.73, p < .05, \eta^2 = .04$ . Simple effect analyses revealed an increase in error rate for younger adults only,  $F(2, 60) = 6.55, p < .01, \eta^2 = .15$ . Figure 3 depicts the change in error rate for the reading non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity and age. No other experimental condition showed Age x Intensity interactions.

### 4.3. Fitness level X Intensity interaction

Paragraph number 19 There was no Fitness x Intensity interaction for error rates. We found a Fitness x Intensity interaction for the inhibition non-switch trials of the switching



condition,  $F(2, 126) = 2.99, p < .05, \eta^2 = .04$ . This phenomenon was more salient between 60 % and 80% PPO  $F(1, 63) = 3.34, p = .07, \eta^2 = .03$ , and was due to an increase in RTs for the lower fit group only  $F(2, 62) = 5.41, p < .01, \eta^2 = .13$ . Figure 4 shows the change in RTs for the inhibition non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity and fitness level. No other experimental condition showed Fitness x Intensity interactions.

#### 4.4. Age group X Fitness level X Intensity interaction

Paragraph number 20 There were no triple interactions.

### 5. Discussion

Paragraph number 21 The main aim of this study was to assess the effects of exercise intensity on executive control. Potential methodological confounds such as the type of cognitive task (executive vs. non executive), fitness level (lower vs. higher fit) as well as age (younger vs. older adults) were taken into account. Our hypotheses were that executive components of the task which relies on the integrity of the frontal lobes would show greater impairment than non executive conditions (10, 11, 18), that this phenomenon would be more pronounced at heavier workloads (10, 18, 22) and especially for lower fit individuals (4, 8, 18, 22). Although very few studies have assessed the influence of acute exercise on cognition of older adults, it was suggested that there would not be any significant impact of age on the relationship between acute exercise and cognition. Our results partly support these statements.

Paragraph number 22 Exercise intensity level did moderate the relationship between acute bouts of constant cardiovascular exercise and cognitive performances. Whereas there was no evidence of significant impact of light (40%) to moderate (60%) exercise on cognitive performances, this study systematically showed deleterious influence of

moderate (60%) to heavy (80%) workloads on cognition. These results are in line with the THT (9, 10) and the RAH model (11). These theoretical accounts state that sustaining intense cardiovascular exercise greatly taxes motor areas of the brain. Considering that the brain has a limited amount of resources, other brain areas that are not critically involved in the upholding of high intensity exercise (i.e., prefrontal lobes) are expected to be disrupted. Studies that compared cognitive performance at various intensity levels during exercise in younger adults also showed similar results (18, 23).

Paragraph number 23 Our results showed a significant detrimental influence of moderate to intense exercise on the non-executive (i.e. denomination) condition of the computerized modified-Stroop task. This might be due to the fact that this condition was always performed first in our study. The shorter period of exercise before the completion of this condition could explain this phenomenon. Furthermore, considering the fact that some trial types (e.g. inhibition) were not influenced by exercise intensity, it seems rather unlikely that this phenomenon reflects a general influence of acute exercise on cognition. The fact that the non executive condition was always performed first could also help explain why the present study did not show the predicted facilitative effect of moderate acute cardiovascular exercise on some aspects of information processing (24, 38). Another potential explanation could be related to methodological differences between studies. For example, in McMorris & Graydon's (24) work assessed the influence of incremental exercise (i.e. no pauses between exercise intensity levels) on cognition. In the present study, we rather focused on punctual cognitive assessment completed while performing isolated bouts of exercise (i.e. pauses between exercise bouts to avoid carryover effects). Moreover, conclusions drawn by Tomporowski (38) relied on analyses conveyed on several studies that greatly differed on several methodological aspects (e.g. experimental designs differed among studies with some evaluating pre-post exercise

effects combined with others assessing effects during exercise, etc.). As mentioned previously, different experimental designs may lead to different relation between exercise intensity cognitive performances. Further empirical studies using identical or at least similar methodological design might help to disentangle the complex relationship between acute exercise and neurocognitive functions.

Paragraph number 24 Our results support the prediction that acute cardiovascular exercise has a greater impact on executive control components of the task. In fact, for the switching trials of the switching condition, we observed an increase in error rate between 60 and 80% PPO for all participants. This is in line with most hypotheses, models and theories (i.e. neuroendocrinological hypothesis, RAH model & THT) since switching abilities, thought to rely on the integrity of the frontal lobes (28) were disrupted at high exercise intensity. Nevertheless, our results differ from those of Lucas et al., (21) who reported a facilitative effect of exercise on the interference condition of a modified-Stroop task at 70% HRR compared to 30% HRR. However, the difference in exercise protocol (i.e., conditions performed one after the other without counterbalancing measures) could have lead to different physiological effect and/or practice effects and therefore lead to diverging results.

Paragraph number 25 Our study did not show any significant impact of exercise intensity level on the inhibition condition. This differs from previous work (23), which has shown poorer performances at 80% than at 50% maximum aerobic power in a modified flanker task. The greater cognitive task demands of their protocol (i.e. 4 response alternatives compared to 2 our study) might explain discrepant results. In fact, increasing task complexity elicits more frontal lobes regions involvement (35). Assuming that fewer resources might be allocated to the prefrontal lobes during an intense exercise (i.e. THT), it is plausible that their task had put extra demands on the prefrontal lobes

compared to our task and therefore caused the decrement in performance during their inhibition condition.

Paragraph number 26 Fitness level did impact the relationship between acute cardiovascular exercise and executive components of the computerized modified-Stroop task. In fact, only lower fit individuals showed an increase in response time for the inhibition non-switch trials of the switching condition when the intensity rose from moderate (60% PPO) to high (80% PPO) intensity. Once again, these results are in line with the THT, the RAH model and the neuroendocrinological hypotheses since functions relying on the prefrontal lobes are negatively affected by acute cardiovascular exercise and particularly more intense exercise. These results are also in line with the cardiovascular fitness hypothesis as the deleterious effect of increasing intensity from 60 to 80% PPO in this condition was only shown in lower fit individuals. A steeper decrease in blood O<sub>2</sub> saturation and/or metabolites in the frontal lobe regions (31) or an important increase in catecholamine concentrations (8) could be potential aetiologies of this phenomenon. As mentioned previously, it is possible that the greater task complexity of the inhibition non-switch trials compared with inhibition trials alone might explain why effects were only seen in these trials and not the other ones.

Paragraph number 27 As predicted, age did not have a major impact on the relationship between acute exercise and cognition in this study. In fact, the only significant interaction between exercise intensity level and age was shown for the reading non-switch trials of the switching condition where only younger adults showed an increase in error rate for these trials between 60 and 80 % PPO. This phenomenon could be attributable to a more conservative mode of responding to the task in older compared to younger adults. In fact, although there was no significant speed-accuracy trade-off for these trials, older adults were inclined to show increase RTs between 60% and 80% PPO. The reason why this

phenomenon was specifically observed for the reading non-switch trials could be related to task novelty since participants never completed a reading condition alone. As suggested by previous studies (30), processing of novel stimulus is delayed in older compared with younger adults. Therefore, it is possible that the relative novelty of these trials might have created an increased overload of this already complex condition and therefore influenced older adult's strategy. The absence of general age effects on the relationship between acute exercise and cognition was also supported by others (21) who showed that both younger and older adults showed similar performance patterns in an interference condition of a modified-Stroop task.

## 6. Conclusion

Paragraph number 28 The present study suggests that cognitive performance is impaired during an exercise of moderate to high intensity. This phenomenon was essentially observed for the executive components of the task (i.e. switching condition) and in lower fit individuals. It seems that age did not have a major influence on the relationship between acute exercise and cognition. The precise aetiology (aetiologies) of these findings still needs to be clarified. Therefore future studies are encouraged to explore various physiological markers (i.e. neurotransmitters, hemodynamics, etc.), which could help consolidate actual theoretical accounts of the relationship between acute exercise and cognition.

## 7. Acknowledgment

Paragraph number 29 Authors wished to thank all of the participants who completed this study. Louis Bherer is supported by the Canadian research chair program and Véronique Labelle is supported by a fellowship from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR- Institutes of aging). Authors report no conflict of interest. The results of the present study do not constitute endorsement by ACSM.

## References

1. Audiffren M. Acute exercise and psychological functions: a cognitive-energetic approach. In: McMorris T, Tomporowski PD, Audiffren M, editors. *Exercise and cognitive function*. Chichester (UK); Hoboken (NJ): Wiley-Blackwell; 2009. p. 3-39.
2. Audiffren M, Brisswalter J, Brandet JP, Bosquet L. [The relation of exercise intensity to attention deficits: analysis of a cycling task]. *Science & Sports*. 1998; 13:81-3.
3. Audiffren M, Tomporowski PD, Zagrodnik J. Acute aerobic exercise and information processing: modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychol (Amst)*. 2009; 132(1):85-95.
4. Brisswalter J, Arcelin R, Audiffren M, Delignieres D. Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. *Percept Mot Skills*. 1997; 85(3):1019-27.
5. Brisswalter J, Collardeau M, Arcelin R. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med*. 2002; 32(9):555-66.
6. Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res*. 2012; 1453:87-101.
7. Davranche K, McMorris T. Specific effects of acute moderate exercise on cognitive control. *Brain Cogn*. 2009; 69(3):565-70.
8. de Diego Acosta AM, Garcia JC, Fernandez-Pastor VJ, Peran S, Ruiz M, Guirado F. Influence of fitness on the integrated neuroendocrine response to aerobic exercise until exhaustion. *J Physiol Biochem*. 2001; 57(4):313-20.



9. Del Giorno JM, Hall EE, O'Leary KC, Bixby WR, Miller PC. Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. *J Sport Exerc Psychol.* 2010; 32(3):312-23.
10. Dietrich A. Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Res.* 2006; 145(1):79-83.
11. Dietrich A, Audiffren M. The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neurosci Biobehav Rev.* 2011; 35(6):1305-25.
12. Ekkekakis P. Illuminating the black box: investigating prefrontal cortical hemodynamics during exercise with near-infrared spectroscopy. *J Sport Exerc Psychol.* 2009; 31(4):505-53.
13. Fery YA, Ferry A, Vom Hofe A, Rieu M. Effect of physical exhaustion on cognitive functioning. *Percept Mot Skills.* 1997; 84(1):291-8.
14. Hockey GR. Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload; a cognitive-energetical framework. *Biol Psychol.* 1997; 45(1-3):73-93.
15. Humphreys MS, Revelle W. Personality, motivation, and performance: a theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychol Rev.* 1984; 91(2):153-84.
16. Kahneman D. *Attention and effort.* Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall, Inc.; 1973. p. 17-24.
17. Ketata W, Rekik WK, Ayadi H, Kammoun S. [Aging of the respiratory system: anatomical changes and physiological consequences]. *Rev Pneumol Clin.* 2012; 68(5):282-9.

18. Labelle V, Bosquet L, Mekary S, Bherer L. Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain & Cognition*. 2013; 81:10-7.
19. Li KZ, Lindenberger U, Freund AM, Baltes PB. Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychol Sci*. 2001; 12(3):230-7.
20. Linkis P, Jorgensen LG, Olesen HL, Madsen PL, Lassen NA, Secher NH. Dynamic exercise enhances regional cerebral artery mean flow velocity. *J Appl Physiol*. 1995; 78(1):12-6.
21. Lucas SJ, Ainslie PN, Murrell CJ, Thomas KN, Franz EA, Cotter JD. Effect of age on exercise-induced alterations in cognitive executive function: relationship to cerebral perfusion. *Exp Gerontol*. 2012; 47(8):541-51.
22. McMorris T. Exercise and cognitive function: a neuroendocrinological explanation. In: McMorris T, Tomporowski PD, Audiffren M, editors. *Exercise and cognitive function*. Chichester (UK); Hoboken (NJ): Wiley-Blackwell; 2009, p. 41-68.
23. McMorris T, Davranche K, Jones G, Hall B, Corbett J, Minter C. Acute incremental exercise, performance of a central executive task, and sympathoadrenal system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity. *Int J Psychophysiol*. 2009; 73(3):334-40.
24. McMorris T, Graydon J. The effect of incremental exercise on cognitive performance. *Int. J. Sport Psychol*. 2000; 31:66-81.
25. McMorris T, Hale BJ. Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain Cogn*. 2012; 80(3):338-51.

26. McMorris T, Sproule J, Turner A, Hale BJ. Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiol Behav.* 2011; 102(3-4):421-8.
27. McMorris T, Tallon M, Williams C et al. Incremental exercise, plasma concentrations of catecholamines, reaction time, and motor time during performance of a noncompatible choice response time task. *Percept Mot Skills.* 2003; 97(2):590-604.
28. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol.* 2000; 41(1):49-100.
29. Pesce C, Cereatti L, Forte R, Crova C, Casella R. Acute and chronic exercise effects on attentional control in older road cyclists. *Gerontology.* 2011; 57(2):121-8.
30. Richardson C, Bucks RS, Hogan AM. Effects of aging on habituation to novelty: an ERP study. *Int J Psychophysiol.* 2011; 79(2):97-105.
31. Rooks CR, Thom NJ, McCully KK, Dishman RK. Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Prog Neurobiol.* 2010; 92(2):134-50.
32. Rossiter HB, Kowalchuk JM, Whipp BJ. A test to establish maximum O<sub>2</sub> uptake despite no plateau in the O<sub>2</sub> uptake response to ramp incremental exercise. *J Appl Physiol.* 2006; 100(3):764-70.
33. Sanders AF. Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychol (Amst).* 1983; 53(1):61-97.

34. Shvartz E, Reibold RC. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat Space Environ Med.* 1990; 61(1):3-11.
35. Stuss DT. Frontal lobes and attention: processes and networks, fractionation and integration. *J Int Neuropsychol Soc.* 2006; 12(2):261-71.
36. Tabachnick BG, Fidell LS. Review of univariate and bivariate statistics. In: Hartman S, editor. *Using multivariate statistics.* Boston: Pearson Education, Inc.; 2007, p.33-59.
37. Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci.* 1992; 17(4):338-45.
38. Tomporowski PD. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol (Amst).* 2003; 112(3):297-324.
39. Wilson R, Barnes L, Bennett D. Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2003; 25(5):634-42.

## Figure captions

*Figure 1.* Mean error rate for the denomination condition as a function of exercise intensity

*Figure 2.* Mean error rate for the switching trials of the switching condition as a function of exercise intensity

*Figure 3.* Change in error rate for the reading non-switch trials of the switching condition as a function of exercise intensity and age.

*Figure 4.* Change in RTs for the inhibition non-switch trials of the switching condition as a function of intensity and fitness levels.

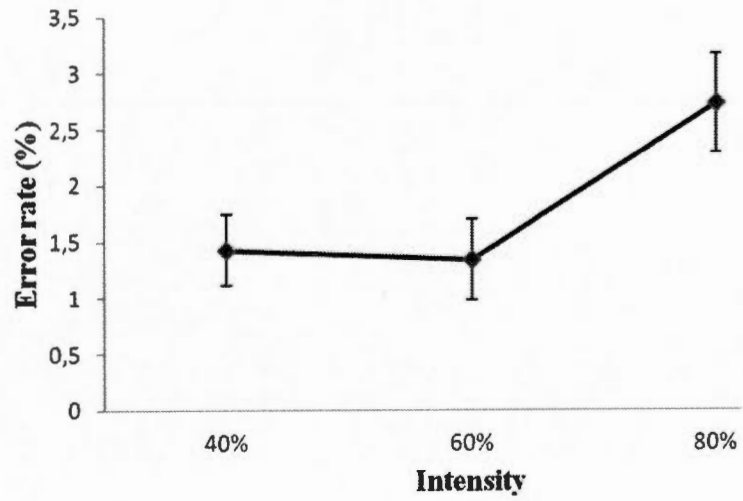
*Figure 1.*

Figure 2.

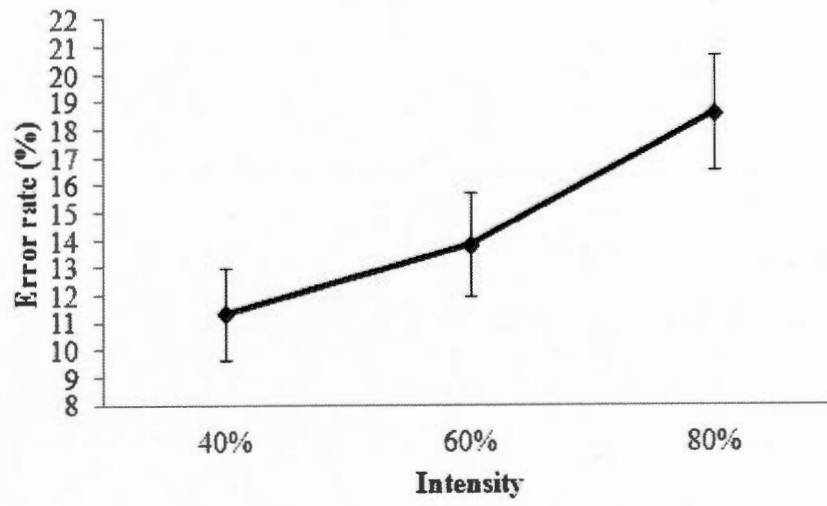




Figure 3.

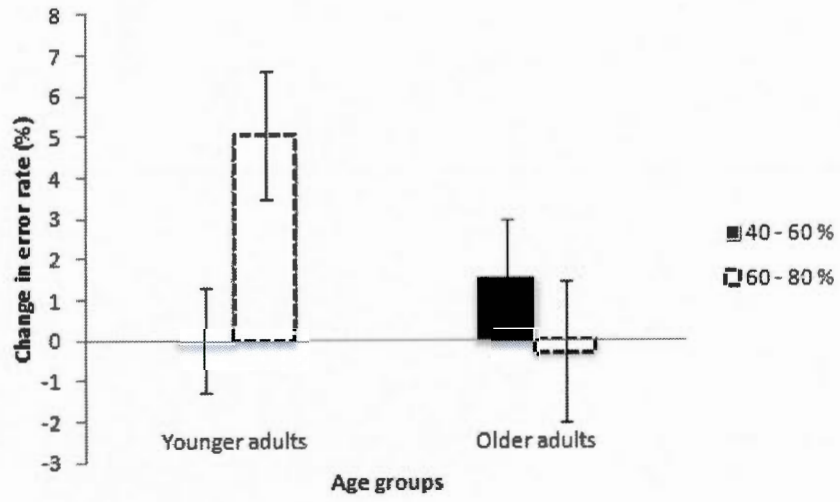


Figure 4.

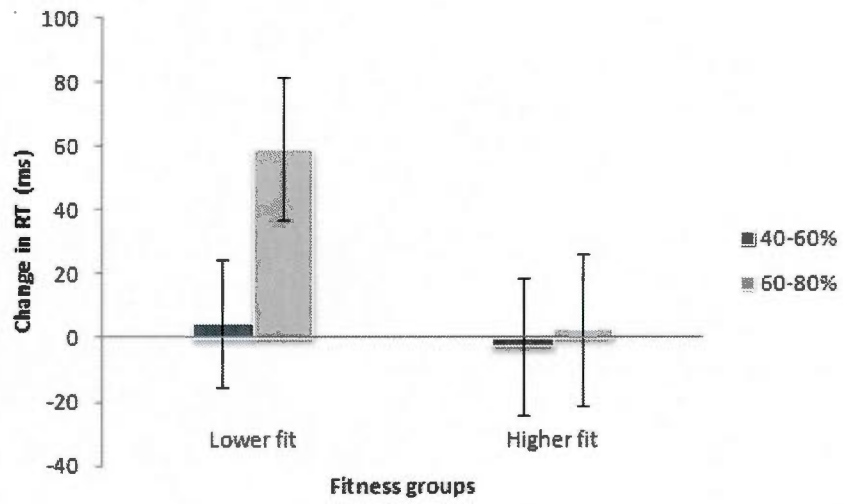


Table 1. Demographic and physical measures for both age and fitness groups

	Younger adults (n=37)			Older adults (n=31)			Age group X Fitness level	P
	Higher fit (n = 16)	Lower fit (n = 21)		Higher fit (n = 16)	Lower fit (n = 15)			
	Mean	SD		Mean	SD			
Age (years)	24.56	2.45	23.19	64.75	3.64	63.07	<.01	<.05
Gender (men/women)	9/7		10/11	11/5		6/9	<.01	<.05
Education (years)	16.69	1.29	17.43	16.47	4.59	15.20	n.s.	n.s.
Body mass index	23.36	2.18	23.85	25.04	3.24	26.89	<.01	n.s.
PPO (Watts)	247.00	42.78	189.10	181.44	43.78	137.20	<.01	<.01
VO2 max (ml/min/kg)	50.62	7.86	38.33	33.42	4.91	23.67	<.01	<.01
<i>Sivertz &amp; Reibold (1990) categories</i>	1-3		4-7	1-3		4-7	<.01	<.01
Mean for men	2		5	3		5		
Mean for women	3		5	1		5		

Table 2. Means and standard deviation of the brief neuropsychological evaluation as well as mood, sleep, cognitive activity and self-reported physical activity assessment data

	Younger adults (n=37)		Older adults (n=31)		p
	Mean	SD	Mean	SD	
<i>Cognitive functioning screening</i>					
MMSE (Total score)	n/a	n/a	28.81	0.87	n/a
<i>Perceptual abilities and processing speed</i>					
Digit symbol substitution test (WAIS-III)	91.73	15.58	63.13	8.26	< .01
Trail making test part A (seconds)	24.43	12.40	30.85	8.71	< .05
Trail making test part A (err)	0.16	0.37	0.13	0.34	n.s.
<i>Short term and working memory</i>					
Digit span forward (WAIS-III)	7.24	1.36	6.87	1.12	n.s.
Digit span backwards (WAIS-III)	5.54	1.33	5.35	1.38	n.s.
<i>Verbal abilities and abstraction capacities</i>					
Similarities (WAIS-III)	25.70	3.44	24.55	3.41	n.s.
<i>Cognitive flexibility</i>					
Trail making test part B (seconds)	51.49	16.08	68.29	18.87	< .01
Trail making test part B (err)	0.38	0.68	0.34	0.79	n.s.
<i>Depression symptomatology</i>					
BDI-II (Total score)	3.24	4.48	n/a	n/a	n/a
GDS (Total score)	n/a	n/a	3.16	2.97	n/a
<i>Sleep quality</i>					
PSQI (Total score)	7.22	5.65	9.97	5.10	< .05
<i>Cognitive activity index</i>					
AVQ (Actual score)	17.35	2.85	17.74	3.36	n.s.
<i>Self-reported physical activity</i>					
MAQ (minutes)	10646.11	7607.98	19140.65	21981.86	< .05
MAQ (METS)	61768.24	49481.63	91998.07	111697.11	n.s.

## CHAPITRE III

### DISCUSSION GÉNÉRALE

## DISCUSSION GÉNÉRALE

Le vieillissement est un processus complexe caractérisé par des modifications physiques et cognitives variables entre les individus. Or, le vieillissement est généralement accompagné de déficits physiologiques (e.g. régulation de la pression systolique et de la consommation maximale d'oxygène ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ )) et cognitifs (e.g. contrôle exécutif). Heureusement, plusieurs études réalisées au cours des dernières décennies ont mis en lumière une variété de facteurs pouvant modérer les effets délétères du vieillissement sur la santé physique et cognitive. Bien que l'entraînement cognitif ainsi que la réalisation d'activités cognitivement stimulantes aient démontré des effets positifs sur la cognition, seule la pratique régulière d'activités cardiovasculaires semble avoir le potentiel de favoriser à la fois une meilleure santé physique et cardiovasculaire. Ainsi, dans une optique de promotion de la santé, mais surtout de prévention d'une explosion des coûts reliés aux soins de santé, les organismes de santé internationaux ainsi que les divers paliers gouvernementaux ont, au cours des dernières années, promu avec insistance la pratique régulière d'activités physiques. Cependant, très peu d'études se sont intéressées à évaluer la cognition des personnes âgées alors qu'ils réalisent des sessions ponctuelles d'exercices cardiovasculaires. Ceci revêt pourtant un intérêt majeur puisqu'une panoplie d'activités de la vie quotidienne requiert la réalisation concomitante de processus cognitifs et physiologiques (e.g. tâches ménagères, monter les escaliers du Métro tout en cherchant son chemin, etc.). Bien que ce sujet de recherche ait été amplement étudié auprès de population de jeunes adultes, les conclusions de ces diverses études révèlent néanmoins des résultats contradictoires. Des différences méthodologiques importantes telles que l'intensité de l'exercice, la nature de la tâche cognitive, le niveau de condition cardiorespiratoire et l'âge pourraient expliquer ces divergences.

Cette thèse avait donc pour objectif principal d'évaluer les effets de la variation de l'intensité de l'exercice sur la cognition. À titre de buts secondaires, cette thèse visait également à évaluer la contribution de modérateurs potentiels de cette relation en (i) utilisant une tâche informatisée et modifiée de Stroop permettant de dissocier la vitesse de traitement de l'information et le contrôle exécutif (ii) en contrôlant pour le niveau de capacité cardiorespiratoire en évaluant des individus plus en forme et moins en forme (article 1), et ce (iii) autant auprès de jeunes adultes et d'ânés (article 2).

Dans la première étude, nous avons évalué les effets de la variation de l'intensité (faible, modérée et élevée) de courtes séances d'exercices sur les performances à la tâche informatisée et modifiée de Stroop (conditions exécutives et non exécutives) auprès de 37 jeunes adultes âgés entre 20 et 29 ans (Chapitre I). Afin d'évaluer la contribution du niveau de condition cardiorespiratoire sur cette relation, chaque individu a réalisé un test incrémenté visant à déterminer leur PPO. Par la suite, chacun a été attribué au groupe d'individus plus en forme ou de moins en forme en fonction de normes de condition cardiorespiratoire basées sur l'âge et le genre.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés aux effets de l'âge sur cette relation. Ainsi, nous avons comparé les performances des 37 jeunes adultes âgés entre 20 et 29 ans à celles de 31 aînés âgés entre 60 et 70 ans, et ce, toujours en tenant compte de la nature des tâches cognitives et du niveau de condition cardiorespiratoire (Chapitre II).

### 3.1. Synthèse des résultats

3.1.1 Première étude : Les effets aigus d'exercices cardiovasculaires sur le contrôle exécutif de jeunes adultes : implications de l'intensité de l'exercice et du niveau de condition cardiorespiratoire.

Dans cette première étude, l'objectif principal était de déterminer si la variation de l'intensité d'exercices cardiovasculaires (i.e. légère, modérée, élevée) avait un impact sur la cognition de jeunes adultes, et ce, en tenant compte des facteurs confondants potentiels en (i) utilisant une tâche modifiée et informatisée de Stroop permettant une distinction entre les processus de contrôle exécutif et la vitesse de traitement de l'information et en contrôlant pour (ii) le niveau de capacité cardiorespiratoire des participants.

Dans un premier temps, il a été démontré que de courtes séances d'exercices cardiovasculaires influencent les performances cognitives des jeunes adultes, mais que cette relation est modérée par le niveau d'intensité des dits exercices. En effet, les exercices d'intensités légères (40 % PPO) à modérées (60 % PPO) n'ont eu aucun effet significatif sur les performances cognitives. Cependant, tel que prévu, cette étude a mis en évidence une détérioration des performances cognitives lors de la réalisation d'exercices d'intensités modérées (60 % PPO) à élevées (80 % PPO).



Dans un deuxième temps, cette étude a démontré que de brèves séances d'exercice avaient un impact davantage marqué sur les processus cognitifs requérant une implication importante des lobes frontaux (i.e. contrôle exécutif). En effet, les résultats de cette première étude ont démontré qu'un accroissement de l'intensité de 60 % à 80 % PPO avait un effet délétère sur la condition d'alternance de la tâche informatisée et modifiée de Stroop (i.e. essais de lecture — non alternés ainsi que les essais d'alternance).

Dans un troisième temps, cette étude a démontré que la condition cardiorespiratoire pouvait, à tout le moins en partie, modérer les effets délétères d'une augmentation de l'intensité (i.e. 60 % à 80 % PPO) sur les performances aux tâches de contrôle exécutif. En effet, seuls les jeunes adultes moins en forme ont montré une augmentation de la variabilité de leurs temps de réponse dans la condition d'alternance (i.e. essais d'inhibition-non alternés).

En somme, les résultats de cette première étude suggèrent que des intensités d'exercices modérées à élevées (60 % à 80 % PPO) ont un impact délétère essentiellement sur les conditions de contrôle exécutif, et ce, de manière plus marquée chez les individus présentant une moins bonne condition cardiorespiratoire. Soulignons que ces résultats sont tout à fait compatibles avec la plupart des hypothèses, théories et modèles portant sur l'étude de la relation entre de brèves séances d'exercice cardiovasculaires et la cognition. En effet, plusieurs ont suggéré et/ou démontré que des exercices davantage exigeants au plan cardiorespiratoire devraient avoir un plus grand impact délétère sur la cognition (Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Sparling, 2004; 2009), que ces effets devraient être davantage observés lors de la réalisation de tâches requérant une implication importante des lobes frontaux (Dietrich, 2006, 2009; Dietrich & Audiffren, 2011; Dietrich & Sparling, 2004) et que les personnes moins en forme devraient être davantage sensibles à ces effets délétères (Brisswalter et al., 1997; de Diego Acosta et al., 2001; McMorris, 2009; Nielsen et al., 1999).

Finalement, tel que prédit, les résultats aux épreuves neuropsychologiques administrées avant la session expérimentale ont mis en évidence une meilleure vitesse de traitement de l'information (i.e. Substitution de symboles-WAIS-III et Tracé de pistes A) chez les jeunes adultes présentant une meilleure capacité cardiorespiratoire comparativement à ceux moins en forme.

Dans le cadre de cette étude, nous n'avons pas observé d'effets significatifs de l'exercice sur la condition d'inhibition. Ceci diffère des résultats obtenus par McMorris et al., (2009) qui ont démontré une diminution de la capacité à inhiber un automatisme perceptif (i.e. Tâche de Flanker modifiée) lorsque l'intensité de l'exercice passait de 50 % à 80 % de la puissance aérobie maximale. La divergence entre leurs résultats et les nôtres pourrait s'expliquer par la structure même de la tâche cognitive. En effet, dans leur étude, les participants devaient se souvenir des quatre choix de réponse possibles en plus de la localisation de chacune d'entre elles (e.g. peser sur le bouton de droite si la réponse est bleu ou jaune; peser sur le bouton de gauche si la réponse est rouge ou vert). Dans le cas spécifique de notre étude, seuls deux choix de réponse étaient possibles (i.e. bleu ou rouge) et chacun d'entre eux correspondait à un bouton de réponse (i.e. peser sur le bouton de droite si la réponse est bleue; peser sur le bouton de réponse de gauche si la réponse est rouge). Selon Stuss et Stuss & Alexander (2006; 2000), une augmentation de la complexité de la tâche engendre une sollicitation accrue des lobes frontaux. Selon la THT, moins de ressources seraient allouées aux lobes frontaux pendant la réalisation d'exercices physiques intenses. Ainsi, il est possible que la tâche davantage complexe de McMorris et al., (2009) ait créé une surcharge sur le plan de la demande et ainsi causé de piètres performances lors de la réalisation de cette tâche.

À l'instar de certaines autres études selon lesquelles certains aspects du traitement de l'information pourraient être améliorés par la pratique concomitante d'exercices physiques, notre étude n'a pas mis en évidence d'effets facilitateurs de l'exercice sur la condition non-exécutive (i.e. dénomination) de la tâche informatisée et modifiée de Stroop. Deux aspects semblent pouvoir expliquer ces divergences. D'une part, rappelons que la condition de dénomination dans cette première étude de la thèse a systématiquement été réalisée en premier (i.e. conditions de dénomination, d'inhibition et d'alternance). Ainsi, il n'est pas impossible que la durée davantage réduite d'exercice avant la réalisation de cette condition puisse avoir contribué à l'observation de ce phénomène. Or, il importe également de mentionner que les données empiriques au sujet de l'effet potentiellement facilitateur de l'exercice sur la cognition demeurent encore contradictoires, certains rapportant des effets, d'autres non. Précisons également que les diverses revues de la littérature (Tomporowski, 2003) et méta-analyses (Etnier et al., 1997) qui appuient cet aspect facilitateur doivent être interprétées avec prudence puisque, fréquemment, les diverses études incluses dans ces dernières divergeaient

significativement d'un point de vue méthodologique (e.g. inclusion d'études ayant mesuré la cognition avant, pendant ou après l'exercice physique). Ainsi, considérant l'influence importante de plusieurs facteurs confondants dans l'étude de la relation entre exercice aigu et cognition, nous croyons que de regrouper ces études pourrait en avoir biaisé les conclusions. En bref, d'autres études empiriques s'intéressant spécifiquement aux effets de l'exercice sur les aspects non-exécutifs des tâches cognitives apparaissent nécessaires afin de permettre une meilleure compréhension de la relation complexe entre de brèves séances d'exercices cardiovasculaires et la cognition.

3.1.2 Deuxième étude : La perturbation du contrôle exécutif pendant l'exercice est modéré par le niveau de condition cardiorespiratoire, mais non par l'âge.

Cette seconde étude visait à évaluer le rôle de l'âge sur la relation entre exercices cardiovasculaires aigus et cognition, et ce, toujours en tenant compte de la nature des tâches cognitives et du niveau de condition cardiorespiratoire.

Tel qu'attendu et tel que démontré lors de la première étude, seuls des exercices cardiovasculaires d'intensité modérée (60 % PPO) à élevée (80 % PPO) ont eu un impact délétère significatif sur la cognition. Cette étude démontre également que de brèves séances d'exercice cardiovasculaire ont un impact plus marqué auprès de tâches de contrôle exécutif (i.e. condition d'alternance). En effet, l'ensemble des participants a montré une augmentation du taux d'erreurs pour les essais d'alternance entre 60 % et 80 % PPO. D'autre part, tel que démontré lors de la première étude, seuls les participants présentant une moins bonne capacité cardiorespiratoire ont montré une sensibilité accrue de l'augmentation de l'intensité de l'exercice (i.e. 60 à 80 % PPO) lors de la réalisation de la condition d'alternance (i.e. augmentation des temps de réponse pour les essais inhibition de la condition d'alternance). Notons encore une fois que, tel qu'observé lors de la première étude, nous n'avons pas observé d'effets significatifs de l'exercice sur la condition d'inhibition.

Tel que prédit, l'âge n'a pas eu d'impact majeur sur la relation entre l'exercice cardiovasculaire aigu et la cognition. Une seule interaction s'est avérée significative. En effet, seuls les jeunes adultes ont montré une augmentation de leurs taux d'erreurs entre 60 % et 80 % PPO pour les essais de lecture de la condition d'alternance. Cependant, ce résultat apparaît principalement imputable au fait que les personnes âgées ont présenté un mode de réponse davantage conservateur. En effet, bien qu'il n'y ait pas de compromis

vitesse-exactitude significatifs, on constate que les aînés avaient néanmoins tendance à augmenter leur temps de réponse pour ces essais entre 60 % et 80 % PPO. La raison pour laquelle ce phénomène a spécifiquement été observé pour les essais de lecture de la condition d'alternance pourrait s'expliquer par la nouveauté relative de la tâche. En effet, les participants n'ont jamais complété de bloc de lecture seul. Tel que suggéré par certains auteurs (Richardson et al., 2011), le traitement de nouveaux stimuli, qui implique les lobes frontaux, est ralenti chez les personnes âgées comparativement aux jeunes adultes. Ainsi, il est probable que cette relative nouveauté puisse avoir créé une surcharge lors de la réalisation de cette tâche déjà complexe, ce qui a pu influencer leur manière de répondre.

Comparativement aux résultats obtenus dans la première étude, nous avons observé une augmentation du taux d'erreurs entre 60 % et 80 % PPO pour les essais de la condition non-exécutive (i.e. dénomination). Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que cette condition a systématiquement été réalisée en premier (i.e. conditions de dénomination, d'inhibition et d'alternance). Ainsi, il n'est pas impossible que la durée davantage réduite d'exercice avant la réalisation de cette condition puisse avoir contribué à l'observation de ce phénomène. Cependant, considérant le fait que certains types d'essais (i.e. inhibition) n'ont pas été influencés par l'exercice, il apparaît peu probable que les autres effets observés dans la condition d'alternance ne soient que le fruit d'un effet général (e.g. vitesse) de l'exercice sur la cognition.

Dans le cadre de cette deuxième étude, nous n'avons pas comparé la variabilité des réponses entre les jeunes adultes et les aînés. Plusieurs motifs statistiques et théoriques ont motivé ce choix. D'abord, les différences individuelles augmentent avec l'avancée en âge. Ainsi, deux personnes âgées du même âge sont davantage différentes entre elles que deux jeunes adultes également du même âge (Hultsch et al., 2008). Par ailleurs, rappelons que certains types d'essais spécifiques de la tâche informatisée et modifiée de Stroop étaient en nombre limité (e.g. 8 essais d'alternance par intensité d'exercice) et que la variabilité est d'autant plus grande que le nombre d'essais est limité. Ainsi, ce facteur combiné au premier allait à l'encontre de l'utilisation de cette mesure dans ce cas précis.

Finalement, tel que prédit, les résultats aux épreuves neuropsychologiques administrées avant la session expérimentale ont mis en évidence une meilleure vitesse de



traitement de l'information ainsi que de meilleures capacités de flexibilité cognitive chez les jeunes adultes que les aînés. Ces résultats sont tout à fait compatibles avec les données de la littérature portant sur le vieillissement cognitif. D'autre part, nous avons observé que les aînés présentaient légèrement plus de difficultés sur le plan du sommeil que les jeunes adultes, mais passaient davantage de temps à réaliser des activités physiques que les jeunes adultes (i.e. ont davantage de temps à y consacrer). Encore une fois ces résultats sont compatibles avec la littérature. Maintenant, il importe cependant de souligner que bien que les aînés pouvaient présenter davantage de difficultés au plan du sommeil, les résultats obtenus à la suite de la manipulation expérimentale (i.e. évaluation de la cognition lors de la variation de l'intensité de l'exercice), n'ont pas mis en évidence d'effets significatifs de l'âge sur cette relation. Ainsi, il semble donc que les résultats obtenus à l'épreuve modifiée et informatisée de Stroop soient davantage le fruit de la manipulation expérimentale que de différences interindividuelles de départ.

### 3.2. Apport de la thèse

D'un point de vue fondamental, cette thèse a d'abord permis de préciser les effets de brèves séances d'exercice cardiovasculaire sur la cognition de jeunes adultes. Bien que d'autres travaux se soient préalablement intéressés à l'étude de cette relation, les résultats demeuraient contradictoires en raison d'importantes divergences méthodologiques entre les études ou même d'une variation marquée des critères d'inclusion dans le cas de méta-analyses ou revues de la littérature (Brisswalter et al., 2002; Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris & Hale, 2012; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986). L'apport spécifique de cette thèse a été d'explorer, à l'intérieur d'un même devis expérimental, la contribution des divers facteurs modérateurs (i.e. divers niveaux d'intensité de l'exercice, processus cognitifs et niveaux de condition physique) ayant été proposés dans la littérature comme pouvant exercer une influence sur la relation entre l'exercice aigu et la cognition. D'autre part, des contrôles méthodologiques et statistiques rigoureux ont permis d'obtenir un portrait plus clair de cette relation, et ce, en limitant l'influence potentielle de facteurs non désirables (e.g. effets de séquence). Cette première étude a donc mis en évidence une détérioration du rendement à certaines composantes exécutives de la tâche informatisée et modifiée de Stroop lorsque l'intensité de l'exercice a augmenté d'un niveau modéré (60 % PPO) à

élevé (80 % PPO). Précisons aussi que seuls les individus moins en forme ont démontré une augmentation de leur variabilité dans la condition d'alternance. Ainsi, il semble que le fait de présenter une meilleure condition cardiorespiratoire puisse, à tout le moins en partie, limiter les effets délétères de l'augmentation importante de l'intensité de l'exercice sur certaines fonctions de contrôle exécutif.

Dans un second temps, cette thèse a également contribué à mieux saisir les effets de l'âge sur la relation entre exercices aigus et cognition. En effet, un nombre particulièrement limité d'études s'est intéressé à étudier cette relation auprès de cette population clinique. De grands défis techniques (e.g. évaluation de santé préalable à l'évaluation de la condition cardiorespiratoire, surveillance médicale des épreuves incrémentées, formation de réanimation cardio-respiratoire obligatoire pour la surveillance des épreuves physiques sous-maximales) et humains sont possiblement à la source de ce constat. Dans le cadre de la deuxième étude de cette thèse, il a été démontré que l'âge chronologique n'avait que peu d'influence sur la relation entre les exercices aigus et la cognition si ce n'est d'une tendance à modifier légèrement leur stratégie de réponse lors de la réalisation d'un type d'essais de la condition d'alternance (i.e. lecture-non-alterné). Autrement, les données de ce deuxième article reproduisent les constats obtenus lors de la première étude c'est-à-dire une détérioration du rendement à certaines composantes exécutives de la tâche informatisée et modifiée de Stroop lorsque l'intensité de l'exercice a augmenté d'un niveau modéré (60 % PPO) à élevé (80 % PPO). D'autre part, seuls les individus moins en forme ont montré une détérioration de leurs performances dans la condition d'alternance.

En bref, les deux études de cette thèse supportent l'idée que des intensités d'exercices élevés peuvent momentanément nuire au fonctionnement cognitif, plus particulièrement aux tâches requérant l'intégrité des lobes frontaux. D'autre part, il semble que le fait de présenter une meilleure capacité cardiorespiratoire, et ce, indépendamment de l'âge puisse moduler cet effet délétère.

### 3.3 Limites de la thèse

Bien que cette thèse présente plusieurs contributions, elle comporte également quelques limites. Dans un premier temps, il s'agit d'un devis intra-sujet réalisé au cours

d'une seule et même journée. Bien que des contrôles méthodologiques (i.e. utilisation du carré latin pour l'attribution des séquences d'intensité d'exercice; instauration de pauses prolongées entre les diverses intensités d'exercice) et statistiques rigoureux (i.e. analyses de covariance lorsque des effets de séquence ont pu être identifiés) ont été mis en place, une évaluation échelonnée sur trois jours (i.e. une intensité d'exercice/jour) aurait potentiellement pu permettre l'abolition des contrôles statistiques, et donc, d'augmenter la puissance. Cependant, malgré les contrôles statistiques effectués, rappelons que la taille des effets observés était généralement de moyenne amplitude ce qui suggère que nos observations sont raisonnablement imputables à notre manipulation expérimentale.

Dans le cas des deux études, nous n'avons pas mis en évidence d'effets de l'exercice aigu sur la condition d'inhibition seule. Ceci diffère des résultats obtenus par d'autres auteurs (McMorris et al., 2009) qui ont observé de moins bonnes performances à 80 % comparativement à 50 % de la puissance aérobie maximale lors d'une épreuve d'inhibition (i.e. Flanker task modifiée). Tel que mentionné précédemment, il est probable que la plus grande complexité de leur tâche cognitive puisse être à l'origine de cette différence. Ainsi, il semble difficile de distinguer, dans le cadre de cette thèse, si les résultats obtenus dans cette condition sont plutôt le fruit de la complexité de la tâche ou bien du processus cognitif en soi. Des études futures pourraient se pencher sur la question en évaluant un même processus cognitif (e.g. inhibition), mais à l'aide de diverses tâches de niveaux de complexité variables afin de préciser cette question.

Malgré la présence de ces quelques limitations, cette thèse a néanmoins permis de clarifier plusieurs aspects de la relation complexe entre l'exercice aigu et la cognition, et ce, en mesurant dans un même devis expérimental, la contribution de divers niveaux d'intensité d'exercice, de divers processus cognitifs, ainsi que de la condition cardiorespiratoire et de l'âge chronologique. Le contrôle de ces multiples facteurs dans le cadre d'une même série d'études apparaît comme un atout majeur. De fait, une des critiques importantes soulevées dans la littérature au sujet d'études s'étant intéressées à cette relation concerne un manque incontestable de constance sur le plan de la méthodologie. Cette importante variabilité entre les diverses études a donc eu pour effet de grandement limiter la généralisation de conclusions quant au rôle de brèves séances d'exercice cardiovasculaire sur la cognition. Il est évident que la compréhension de cette relation demeure néanmoins incomplète, notamment en regard de la contribution d'autres processus cognitifs, par exemple. Or, cette thèse semble avoir contribué à établir des



standards méthodologiques qui apparaissaient nécessaires dans l'étude de la relation complexe entre les exercices aigus et la cognition. Ces derniers pourraient ainsi être réutilisés dans des études ultérieures afin de raffiner davantage notre compréhension des effets de l'exercice aigu sur le fonctionnement cérébral.

#### 3.4. Implications cliniques de la thèse

En plus de ces apports au plan de la recherche fondamentale, les résultats de cette thèse ont des implications certaines sur le plan de la médecine préventive et de la prescription d'exercice, et ce, autant auprès de jeunes adultes que d'aînés. Tel que mentionné précédemment, la pratique régulière d'exercices physiques d'intensités légères, modérées, voire même intenses, a démontré des effets positifs sur le maintien de la santé physique et cognitive. Ainsi, de plus en plus de professionnels de la santé incitent leurs patients à s'engager dans un programme d'activité physique. Or, les effets immédiats de la pratique d'exercices cardiovasculaires sur le fonctionnement cérébral (e.g. prise de décision pendant la réalisation d'un exercice physique) demeuraient encore mal connus. Les résultats de cette thèse pourraient ainsi être appliqués lors de la mise en place de programmes d'exercices individualisés. En effet, sachant que certains aspects du contrôle exécutif, notamment la capacité d'alterner son attention entre deux tâches différentes, peuvent être négativement altérés lors d'une augmentation de l'intensité de l'exercice (modéré à intense), il pourrait être souhaitable de s'assurer de mettre en place certaines mesures préventives lors de la réalisation de ces entraînements afin de limiter au mieux les effets négatifs d'une hypofrontalité transitoire, et ce, de manière plus marquée chez les gens présentant une moins bonne capacité cardiorespiratoire. Par exemple, s'assurer de limiter les ajustements manuels, parfois nombreux et/ou complexes, des appareils en cours d'exercice (e.g. modification de la vitesse, de l'inclinaison du tapis roulant, de la prise des pulsations cardiaques, etc.) en programmant automatiquement les appareils avant le départ. On pourrait aussi privilégier des appareils sollicitant moins les capacités d'équilibre et d'ajustements réguliers de la posture qui requièrent une implication des lobes frontaux (e.g. vélo plutôt que l'elliptique ou le tapis roulant). Dans un contexte plus écologique, il est reconnu que les aînés, comparativement aux jeunes adultes, ont tendance à négliger la tâche cognitive au profit de celle de nature physique (i.e. lorsque l'intensité est la même et non pas individualisée tel que dans cette thèse)

lorsqu'elles sont réalisées de manière concomitante (Li et al., 2001). D'autre part, nous savons maintenant que la marche, l'équilibre et la posture font appel au contrôle exécutif chez les aînés et que des manquements à cet égard sont associés à des risques accrus de chutes (Martin et al., 2012). Ainsi, imaginons un individu âgé courant afin de ne pas manquer l'autobus (i.e rythme dicté par l'environnement et non en fonction de ses propres capacités) et qui entend la sonnerie de son portable retentir au fond de son sac. Dans une telle situation, il pourrait être suggéré de prendre un moment de pause avant de répondre à l'appel puisque la proportion des ressources métaboliques cérébrales disponible pour accomplir cette recherche serait fort probablement faible et pourrait être associée à une chute, par exemple.

### 3.5. Perspectives futures

Quoiqu'exhaustive, cette thèse n'a évidemment pu couvrir tous les aspects de la relation entre exercices aigus et cognition. D'une part, il serait intéressant d'investiguer la contribution de la variation de la complexité d'une tâche sur le rendement cognitif (e.g. investigation des capacités d'inhibition à l'aide de diverses tâches de complexité variée), afin de préciser si certains mécanismes de contrôle exécutif sont davantage touchés que d'autres lors de la réalisation d'exercices aigus ou bien s'il s'agit davantage d'un effet de complexité de la tâche.

D'autre part, il pourrait s'avérer particulièrement intéressant d'investiguer la contribution de la variation de l'exercice sur d'autres mécanismes cognitifs faisant appel à l'intégrité des lobes frontaux, tel que la récupération en mémoire, par exemple.

Afin d'approfondir nos connaissances sur la relation entre des exercices cardiovasculaires aigus et la cognition, l'évaluation détaillée des modifications comportementales supportées par des analyses de modifications des paramètres physiologiques (e.g. hémodynamisme, neurotransmetteurs, etc.) et l'étude des substrats neurologiques impliqués semble maintenant s'avérer nécessaire afin de mieux saisir les effets cognitifs subtils pouvant survenir pendant la réalisation d'exercices cardiovasculaires aigus.

## CONCLUSION

Cette thèse a permis de préciser la contribution de la variation de l'intensité d'un exercice cardiovasculaire aigu sur la cognition. En effet, la première étude de cette thèse a démontré qu'un exercice d'intensité modérée à élevée pouvait nuire au contrôle exécutif de jeunes adultes et que cet effet était plus prononcé chez ceux présentant une moins bonne capacité cardiorespiratoire. Pour sa part, la seconde étude de cette thèse a précisé le rôle de l'âge chronologique sur la relation entre l'exercice aigu et la cognition. Tel que démontré dans la première étude, tous les participants ont vu leur contrôle exécutif diminuer lors de la réalisation d'exercices aigus d'intensité modérée à élevée, et ce, indépendamment de l'âge chronologique. Seuls les individus présentant une moins bonne capacité cardiorespiratoire ont été davantage affectés par cet effet délétère de l'exercice aigu sur la cognition. Ensemble, ces résultats militent en faveur du fait que se maintenir en bonne santé cardiorespiratoire semble pouvoir limiter certains effets délétères d'exercices aigus de haute intensité sur la cognition, et ce, peu importe l'âge. Ainsi, présenter une meilleure capacité cardiorespiratoire protégerait des effets délétères typiquement associés au vieillissement. Ceci constitue donc une retombée importante dans un contexte de prévention primaire (e.g. chutes) et devrait stimuler les professionnels de la santé à encourager fortement le maintien d'une bonne santé cardiorespiratoire. Finalement, sachant qu'il est possible d'améliorer cet aspect de la condition physique, et ce, même à un âge avancé, cela témoigne du fait qu'il n'est jamais trop tard pour commencer! Des études ultérieures pourraient s'intéresser à mieux comprendre les paramètres physiologiques, endocrinaux et hémodynamiques sous-tendant ces observations comportementales.

## RÉFÉRENCES

- Acevedo, E. O., & Ekkekakis, P. (2006). *Psychobiology of physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ahlskog, J. E., Geda, Y. E., Graff-Radford, N. R., & Petersen, R. C. (2011). Physical exercise as a preventive or disease-modifying treatment of dementia and brain aging. *Mayo Clin Proc*, 86(9), 876-884.
- AITB. (1944). *Army Individual Test Battery, Manual of directions and scoring*. Retrieved from.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*(3), CD005381.
- Audiffren, M. (2009). Acute exercise and psychological functions: a cognitive-energetic approach. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 3-39). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Audiffren, M., Brisswalter, J., Brandet, J. P., & Bosquet, L. (1998). Coût attentionnel d'une tâche de pédalage en fonction de l'intensité de l'exercice [The relation of exercise intensity to attention deficits: analysis of a cycling task]. *Science & Sports*, 13, 81-83.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychol (Amst)*, 129(3), 410-419.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2009). Acute aerobic exercise and information processing: modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychol (Amst)*, 132(1), 85-95.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). *Manual for Beck Depression Inventory II (BDI-II)*. . San Antonio, TX.: The Psychology Corporation.
- Bhambhani, Y., Malik, R., & Mookerjee, S. (2007). Cerebral oxygenation declines at exercise intensities above the respiratory compensation threshold. *Respir Physiol Neurobiol*, 156(2), 196-202.
- Bherer, L., Belleville, S., & Hudon, C. (2004). [Executive function deficits in normal aging, Alzheimer's disease, and frontotemporal dementia]. *Psychol Neuropsychiatr Vieil*, 2(3), 181-189.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: application to attentional control. *Acta Psychol (Amst)*, 123(3), 261-278.
- Braver, T. S., & West, R. (2008). Working memory, Executive control, and Aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition* (Third ed.). New York: Psychology Press.
- Brisswalter, J., Arcelin, R., Audiffren, M., & Delignieres, D. (1997). Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. *Percept Mot Skills*, 85(3 Pt 1), 1019-1027.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & Arcelin, R. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med*, 32(9), 555-566.



- Brisswalter, J., Legros, P., & Delignières, D. (1994). Interactions entre processus cognitifs et physiologiques: Effet du niveau d'effort et du niveau de condition physique des sujets. *Science & Motricité*, 23, 25-31.
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*, 28(2), 193-213.
- Canada, G. d. (2005). *Tendances des dépenses nationales de santé, 1975 à 2005*. Retrieved from.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res*, 1453, 87-101.
- Chmura, J., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int J Sports Med*, 15(4), 172-176.
- Chodzko-Zajko, W. J., Schuler, P., Solomon, J., Heintz, B., & Ellis, N. R. (1992). The influence of physical fitness on automatic and effortful memory changes in aging. *Int J Aging Hum Dev*, 35(4), 265-285.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychol Sci*, 14(2), 125-130.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., et al. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 58(2), 176-180.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., et al. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(9), 3316-3321.
- Davey, C. P. (1973). Physical exertion and mental performance. *Ergonomics*, 16(5), 595-599.
- Davranche, K., Hall, B., & McMorris, T. (2009). Effect of acute exercise on cognitive control required during an Eriksen flanker task. *J Sport Exerc Psychol*, 31(5), 628-639.
- Davranche, K., & McMorris, T. (2009). Specific effects of acute moderate exercise on cognitive control. *Brain Cogn*, 69(3), 565-570.
- de Diego Acosta, A. M., Garcia, J. C., Fernandez-Pastor, V. J., Peran, S., Ruiz, M., & Guirado, F. (2001). Influence of fitness on the integrated neuroendocrine response to aerobic exercise until exhaustion. *J Physiol Biochem*, 57(4), 313-320.
- Del Giorgio, J. M., Hall, E. E., O'Leary, K. C., Bixby, W. R., & Miller, P. C. (2010). Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. *J Sport Exerc Psychol*, 32(3), 312-323.
- Dennis, N. A., & Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition*. New York: Psychology Press.
- Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Res*, 145(1), 79-83.
- Dietrich, A. (2009). The transient hypofrontality theory and its implications for emotion and cognition. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 69-90). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neurosci Biobehav Rev*, 35(6), 1305-1325.
- Dietrich, A., & Sparling, P. B. (2004). Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain Cogn*, 55(3), 516-524.

- Ekkekakis, P. (2009). Illuminating the black box: investigating prefrontal cortical hemodynamics during exercise with near-infrared spectroscopy. *J Sport Exerc Psychol*, 31(4), 505-553.
- Erickson, K. I., Weinstein, A. M., & Lopez, O. L. (2012). Physical Activity, Brain Plasticity, and Alzheimer's Disease. *Arch Med Res*.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Res Rev*, 52(1), 119-130.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: A Meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 19, 249-277.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Han, M. & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: A Meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol*, 19, 249-277.
- Fery, Y. A., Ferry, A., Vom Hofe, A., & Rieu, M. (1997). Effect of physical exhaustion on cognitive functioning. *Percept Mot Skills*, 84(1), 291-298.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189-198.
- Hawkins, H. L., Kramer, A. F., & Capaldi, D. (1992). Aging, exercise, and attention. *Psychol Aging*, 7(4), 643-653.
- Hawkins, S., & Wiswell, R. (2003). Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging: implications for exercise training. *Sports Med*, 33(12), 877-888.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2009). Enrichment Effects on Adult Cognitive Development Can the Functional Capacity of Older Adults Be Preserved and Enhanced? *Psychological Science*, 9(1), 1-65.
- Heyn, P., Abreu, B. C., & Ottenbacher, K. J. (2004). The effects of exercise training on elderly persons with cognitive impairment and dementia: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(10), 1694-1704.
- Hockey, G. R. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload; a cognitive-energetical framework. *Biol Psychol*, 45(1-3), 73-93.
- Hultsch, D. F., Strauss, E., Hunter, M. A., & MacDonald, S. W. S. (2008). Intraindividual variability, Cognition, and Aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (3rd ed., pp. 491-556). New York, NY: Psychology Press.
- Humphreys, M. S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: a theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychol Rev*, 91(2), 153-184.
- Janssens, J. P., Pache, J. C., & Nicod, L. P. (1999). Physiological changes in respiratory function associated with ageing. *Eur Respir J*, 13(1), 197-205.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Ketata, W., Rekik, W. K., Ayadi, H., & Kammoun, S. (2012). [Aging of the respiratory system: anatomical changes and physiological consequences]. *Rev Pneumol Clin*, 68(5), 282-289.
- Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain & Cognition*, 81, 10-17.

- Labelle, V., Renaud, M., & Bherer, L. (2007, 18-19 Octobre). *Impacts de la condition physique sur l'attention divisée chez un groupe de personnes âgées*. Paper presented at the Journée Scientifique Annuelle du Réseau Québécois de Recherche sur le Vieillessement (RQRV), Orford, Québec.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res, 1341*, 12-24.
- Levine, B., Turner, G. R., & Stuss, D. T. (2008). Rehabilitation of frontal lobe functions. In D. T. Stuss, G. Winocur & I. H. Robertson (Eds.), *Cognitive Neurorehabilitation: Evidence and application*. New York: Cambridge University press.
- Li, K. Z., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychol Sci, 12*(3), 230-237.
- Linkis, P., Jorgensen, L. G., Olesen, H. L., Madsen, P. L., Lassen, N. A., & Secher, N. H. (1995). Dynamic exercise enhances regional cerebral artery mean flow velocity. *J Appl Physiol, 78*(1), 12-16.
- Lucas, S. J., Ainslie, P. N., Murrell, C. J., Thomas, K. N., Franz, E. A., & Cotter, J. D. (2012). Effect of age on exercise-induced alterations in cognitive executive function: Relationship to cerebral perfusion. *Exp Gerontol*.
- Martin, K. L., Blizzard, L., Wood, A. G., Srikanth, V., Thomson, R., Sanders, L. M., et al. (2012). Cognitive Function, Gait, and Gait Variability in Older People: A Population-Based Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*.
- McGlynn, G. H., Laughlin, N. T., & Bender, V. L. (1977). Effect of strenuous to exhaustive exercise on a discrimination task. *Percept Mot Skills, 44*, 1139-1147.
- McMorris, T. (2009). Exercise and cognitive function: a neuroendocrinological explanation. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 41-68). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- McMorris, T., Davranche, K., Jones, G., Hall, B., Corbett, J., & Minter, C. (2009). Acute incremental exercise, performance of a central executive task, and sympathoadrenal system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity. *Int J Psychophysiol, 73*(3), 334-340.
- McMorris, T., & Graydon, J. (1997). The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests. *J Sports Sci, 15*(5), 459-468.
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *Int. J. Sport Psychol., 31*, 66-81.
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain Cogn, 80*(3), 338-351.
- McMorris, T., & Keen, P. (1994). Effect of exercise on simple reaction times of recreational athletes. *Percept Mot Skills, 78*(1), 123-130.
- McMorris, T., Myers, S., MacGillivray, W. W., Sexsmith, J. R., Fallowfield, J., Graydon, J., et al. (1999). Exercise, plasma catecholamine concentrations and decision-making performance of soccer players on a soccer-specific test. *J Sports Sci, 17*(8), 667-676.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiol Behav, 102*(3-4), 421-428.
- McMorris, T., Tallon, M., Williams, C., Sproule, J., Draper, S., Swain, J., et al. (2003). Incremental exercise, plasma concentrations of catecholamines, reaction time,



- and motor time during performance of a noncompatible choice response time task. *Percept Mot Skills*, 97(2), 590-604.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol*, 41(1), 49-100.
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., et al. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 116(9), 1094-1105.
- Nielsen, H. B., Boushel, R., Madsen, P., & Secher, N. H. (1999). Cerebral desaturation during exercise reversed by O<sub>2</sub> supplementation. *Am J Physiol*, 277(3 Pt 2), H1045-1052.
- Organization, W. H. (2012). Interesting facts about ageing. *Ageing and life course* Retrieved May 11th, 2012, from <http://www.who.int/ageing/about/facts/en/index.html>
- Paas, F. G., & Adam, J. J. (1991). Human information processing during physical exercise. *Ergonomics*, 34(11), 1385-1397.
- Park, D. C., Polk, T. A., Mikels, J. A., Taylor, S. F., & Marshuetz, C. (2001). Cerebral aging: integration of brain and behavioral models of cognitive function. *Dialogues Clin Neurosci*, 3(3), 151-165.
- Pesce, C. (2009). An integrated approach to the effect of acute and chronic exercise on cognition: the linked role of individual and task constraints. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 213-226). Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Pesce, C., & Audiffren, M. (2011). Does acute exercise switch off switch costs? A study with younger and older athletes. *J Sport Exerc Psychol*, 33(5), 609-626.
- Pesce, C., Cereatti, L., Forte, R., Crova, C., & Casella, R. (2011). Acute and chronic exercise effects on attentional control in older road cyclists. *Gerontology*, 57(2), 121-128.
- Pesce, C., Tessitore, A., Casella, R., Pirritano, M., & Capranica, L. (2007). Focusing of visual attention at rest and during physical exercise in soccer players. *J Sports Sci*, 25(11), 1259-1270.
- Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2007). Neuroelectric and behavioral indices of interference control during acute cycling. *Clin Neurophysiol*, 118(3), 570-580.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance : Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 1-90). New-Jersey Lawrence Erlbaum Associates.
- Renaud, M., Bherer, L., & Maquestiaux, F. (2010). A high level of physical fitness is associated with more efficient response preparation in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 65B(3), 317-322.
- Richardson, C., Bucks, R. S., & Hogan, A. M. (2011). Effects of aging on habituation to novelty: an ERP study. *Int J Psychophysiol*, 79(2), 97-105.
- Rooks, C. R., Thom, N. J., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2010). Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Prog Neurobiol*, 92(2), 134-150.
- Rossiter, H. B., Kowalchuk, J. M., & Whipp, B. J. (2006). A test to establish maximum O<sub>2</sub> uptake despite no plateau in the O<sub>2</sub> uptake response to ramp incremental exercise. *J Appl Physiol*, 100(3), 764-770.

- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychol (Amst)*, 53(1), 61-97.
- Shvartz, E., & Reibold, R. C. (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat Space Environ Med*, 61(1), 3-11.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028.
- Stuss, D. T. (2006). Frontal lobes and attention: processes and networks, fractionation and integration. *J Int Neuropsychol Soc*, 12(2), 261-271.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychol Res*, 63(3-4), 289-298.
- Stuss, D. T., & Binns, M. (2008). The patient as a moving target: the importance to rehabilitation of understanding variability. In D. T. Stuss, G. Winocur & I. H. Robertson (Eds.), *Cognitive Neurorehabilitation: Evidence and application*. New York: Cambridge University press.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). Review of univariate and bivariate statistics. In S. Hartman (Ed.), *Using multivariate statistics*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Thomas, S., Reading, J., & Shephard, R. J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci*, 17(4), 338-345.
- Tomprowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol (Amst)*, 112(3), 297-324.
- Tomprowski, P. D., & Ellis, N. R. (1986). Effects of Exercise on Cognitive Processes: A Review *Psychological Bulletin*, 99(3), 338-346.
- Vuillemin, A., Oppert, J. M., Guillemin, F., Essermeant, L., Fontvieille, A. M., Galan, P., et al. (2000). Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, 32(6), 1119-1124.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale—3rd Edition (WAIS-3®)* San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wilson, R., Barnes, L., & Bennett, D. (2003). Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25(5), 634-642.
- Winer, B. J. (1971). *Statistical principles in experimental design* (2d ed.). New York ; Montreal: McGraw-Hill.
- Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., et al. (1982). Development and validation of a geriatric depression screening scale: a preliminary report. *J Psychiatr Res*, 17(1), 37-49.

## ANNEXES

*ANNEXE 1*

*Tableaux de données de la session expérimentale- Article 1*

## Temps de réaction (ms)

	<b>Denomination</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	471.56	74.01	462.08	65.36	465.14	65.42
<b>Fitness</b>						
Lower fit	479.81	70.58	483.63	70.98	476.1	75.6
Higher fit	460.74	79.28	433.8	45.08	450.74	47.57

	<b>Inhibition</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	507.82	96.45	515.75	104.46	535.03	108.03
<b>Fitness</b>						
Lower fit	519.45	89	546.24	116.44	540.44	122.48
Higher fit	492.57	106.42	475.73	71.43	527.93	88.95

	<b>Inhibition non-switch</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	667.39	133.03	681	148.56	672.09	152.47
<b>Fitness</b>						
Lower fit	667.77	109.62	681.58	142.8	693.99	165.02
Higher fit	666.88	162.64	680.23	160.55	643.35	133.92

<b>Reading non-switch</b>						
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	716.26	140.09	716.15	185.57	723.75	188.66
<b>Fitness</b>						
Lower fit	724.05	136.73	716.47	175.14	740.39	234.71
Higher fit	706.04	148.25	715.72	204.32	701.91	105.23

<b>Switch</b>						
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	946.53	175.22	942.5	180.49	914.13	198.49
<b>Fitness</b>						
Lower fit	958.07	197.7	966.17	189.33	928.6	225.46
Higher fit	931.38	145.39	911.45	169.05	895.13	161.56

## Pourcentages d'erreur

	<b>Denomination</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	2.14	3.16	1.57	3.49	2.70	4.04
<b>Fitness</b>						
Lower fit	2.00	3.10	1.00	2.12	2.51	4.28
Higher fit	2.32	3.33	2.32	4.71	2.96	3.83

	<b>Inhibition</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	2.58	3.66	3.28	5.6	2.58	2.96
<b>Fitness</b>						
Lower fit	2.02	3.12	3.51	4.81	2.05	2.68
Higher fit	3.31	4.25	2.98	6.66	3.29	3.26



<b>Inhibition non-switch</b>						
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	2.98	4.94	2.6	3.85	3.28	4.62
<b>Fitness</b>						
Lower fit	3.1	5.22	2.46	3.84	2.46	3.78
Higher fit	2.84	4.71	2.79	3.98	4.35	5.48

<b>Reading non-switch</b>						
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	3.68	6.41	3.68	8.12	8.73	10.39
<b>Fitness</b>						
Lower fit	3.99	7.3	4.52	9.63	10.99	11.95
Higher fit	3.29	5.21	2.59	5.69	5.76	7.2

	<b>Switch</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	10.09	10.2	12.65	11.8	18.15	12.46
<b>Fitness</b>						
Lower fit	8.59	10.31	13.86	13.05	20.07	12.38
Higher fit	12.05	10.03	11.05	10.11	15.63	12.5

## Coefficient de variabilité

	<b>Denomination</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	19.98	4.73	19.12	5.15	20.25	4.3
<b>Fitness</b>						
Lower fit	20.49	4.57	20.66	5.51	20.03	4.78
Higher fit	19.31	5	17.11	3.95	20.55	3.7

	<b>Inhibition</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	23.65	8.76	24.92	9.26	25.76	9.47
<b>Fitness</b>						
Lower fit	23.79	8.02	26.6	8.68	26.62	7.95
Higher fit	23.47	9.91	22.71	9.82	24.64	11.34

<b>Inhibition non-switch</b>						
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	27.55	9.68	28.05	8.2	30.85	10.42
<b>Fitness</b>						
Lower fit	28.32	10.41	28.54	7.47	34.62	11.08
Higher fit	26.55	8.86	27.4	9.29	25.9	7.15

<b>Reading non-switch</b>						
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	26.49	9.2	27.13	9.79	29.53	10.84
<b>Fitness</b>						
Lower fit	27.41	9.58	27.13	6.95	31.08	11.39
Higher fit	25.28	8.83	27.13	12.87	27.48	10.06

	Switch					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	17.76	7.39	17.86	7.07	19.47	7.72
<b>Fitness</b>						
Lower fit	17.73	6.88	18.53	7.02	20.28	7.16
Higher fit	17.8	8.24	16.97	7.27	18.41	8.52

*ANNEXE 2*

*Tableaux de données de la session expérimentale- Article 2*

## Temps de réaction (ms)

	Denomination					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	516.19	95.89	511.66	87.62	515.42	87.57
<b>Age</b>						
Younger adults	471.56	74.01	462.08	65.36	465.14	65.42
Older adults	569.45	92.59	570.83	73.28	575.43	71.76
<b>Fitness</b>						
Lower fit	523.29	91.55	523.27	84.28	523.14	92.95
Higher fit	508.19	101.42	498.60	90.78	506.74	81.67
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	479.81	70.58	483.63	70.98	476.10	75.60
Higher fit	460.74	79.28	433.80	45.08	450.74	47.57
<i>Older adults</i>						
Lower fit	584.18	83.83	578.75	70.05	588.99	73.97
Higher fit	555.64	100.84	563.41	77.71	562.73	69.53



	<b>Inhibition</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	569.80	139.34	576.54	143.54	610.71	171.37
<b>Age</b>						
Younger adults	507.82	96.44	515.75	104.46	535.03	108.03
Older adults	643.78	147.66	649.10	151.40	701.03	189.97
<b>Fitness</b>						
Lower fit	578.88	112.15	598.98	144.74	613.13	148.87
Higher fit	559.59	166.00	551.29	140.12	607.98	196.04
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	519.45	89.00	546.24	116.44	540.44	122.48
Higher fit	492.57	106.42	475.73	71.43	527.93	88.95
<i>Older adults</i>						
Lower fit	662.10	86.07	672.82	151.63	714.90	122.28
Higher fit	626.61	189.85	626.86	152.62	688.03	240.52

	<b>Inhibition non-switch</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	768.09	192.31	769.28	192.16	801.97	239.90
<b>Age</b>						
Younger adults	667.39	133.03	681.00	148.56	672.09	152.47
Older adults	888.28	184.18	874.65	186.80	956.99	234.51
<b>Fitness</b>						
Lower fit	753.20	164.97	757.91	183.80	817.28	244.94
Higher fit	784.83	220.58	782.07	203.34	784.75	236.79
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	667.77	109.62	681.58	142.80	693.99	165.02
Higher fit	666.88	162.63	680.23	160.55	643.35	133.92
<i>Older adults</i>						
Lower fit	872.8	156.84	864.78	185.33	989.90	237.40
Higher fit	902.80	210.77	883.91	193.76	926.14	235.14

	<b>Reading non-switch</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	797.16	188.91	796.06	227.85	808.10	203.31
<b>Age</b>						
Younger adults	716.26	140.09	716.15	185.56	723.75	188.66
Older adults	893.72	196.06	891.43	239.47	908.78	174.23
<b>Fitness</b>						
Lower fit	782.99	148.59	778.37	221.03	812.89	227.20
Higher fit	813.10	227.39	815.96	237.22	802.71	176.07
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	724.05	136.73	716.47	175.14	740.39	234.71
Higher fit	706.04	148.25	715.72	204.32	701.91	105.23
<i>Older adults</i>						
Lower fit	865.51	126.41	865.02	254.02	914.39	177.28
Higher fit	920.17	245.81	916.20	230.47	903.52	176.97

	<b>Switch</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	1087.10	301.44	1063.04	271.01	1075.80	304.34
<b>Age</b>						
Younger adults	946.53	175.22	942.50	180.49	914.13	198.49
Older adults	1254.88	335.60	1206.90	292.64	1268.77	298.10
<b>Fitness</b>						
Lower fit	1080.67	265.10	1045.86	218.58	1059.21	287.07
Higher fit	1094.34	341.95	1082.37	322.60	1094.47	326.29
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	958.07	197.70	966.17	189.33	928.60	225.46
Higher fit	931.38	145.39	911.45	169.05	895.13	161.56
<i>Older adults</i>						
Lower fit	1252.31	256.43	1157.43	213.01	1242.05	268.34
Higher fit	1257.30	404.81	1253.29	352.39	1293.82	330.36

## Pourcentages d'erreur

	<b>Denomination</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	1.47	2.71	1.32	2.93	2.71	3.58
<b>Age</b>						
Younger adults	2.14	3.16	1.57	3.49	2.70	4.04
Older adults	0.68	1.79	1.02	2.11	2.72	3.00
<b>Fitness</b>						
Lower fit	1.61	2.76	1.02	2.11	2.92	3.87
Higher fit	1.32	2.69	1.65	3.66	2.47	3.27
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	2.00	3.10	1.00	2.12	2.51	4.28
Higher fit	2.32	3.33	2.32	4.71	2.96	3.83
<i>Older adults</i>						
Lower fit	1.05	2.18	1.05	2.18	3.51	3.24
Higher fit	0.33	1.32	0.99	2.12	1.97	2.63

	<b>Inhibition</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	2.34	3.58	2.49	4.70	2.88	4.69
<b>Age</b>						
Younger adults	2.58	3.66	3.28	5.60	2.58	2.96
Older adults	2.06	3.53	1.55	3.17	3.24	6.18
<b>Fitness</b>						
Lower fit	1.77	2.83	2.63	4.27	2.80	5.27
Higher fit	2.98	4.12	2.34	5.21	2.97	4.00
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	2.02	3.12	3.51	4.81	2.05	2.68
Higher fit	3.31	4.25	2.98	6.66	3.29	3.26
<i>Older adults</i>						
Lower fit	1.42	2.44	1.40	3.12	3.86	7.57
Higher fit	2.65	4.31	1.70	3.30	2.65	4.72

	<b>Inhibition non-switch</b>					
	<b>40</b>		<b>60</b>		<b>80</b>	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	3.33	4.79	3.21	4.87	4.85	8.73
<b>Age</b>						
Younger adults	2.98	4.94	2.60	3.85	3.28	4.62
Older adults	3.74	4.65	3.93	5.85	6.73	11.75
<b>Fitness</b>						
Lower fit	2.51	4.41	2.54	3.94	3.24	4.22
Higher fit	4.24	5.09	3.96	5.72	6.67	11.76
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	3.10	5.22	2.46	3.84	2.46	3.78
Higher fit	2.84	4.71	2.79	3.98	4.35	5.48
<i>Older adults</i>						
Lower fit	1.69	2.91	2.64	4.19	4.33	4.69
Higher fit	5.65	5.21	5.13	6.99	8.98	15.63



	<b>Reading non-switch</b>					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	3.26	5.77	3.96	7.50	6.57	8.57
<b>Age</b>						
Younger adults	3.68	6.41	3.68	8.12	8.73	10.39
Older adults	2.74	4.95	4.29	6.79	4.00	4.69
<b>Fitness</b>						
Lower fit	2.87	5.93	4.29	8.23	7.87	10.14
Higher fit	3.69	5.64	3.59	6.69	5.12	6.20
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	3.99	7.30	4.52	9.63	10.99	11.95
Higher fit	3.29	5.21	2.59	5.69	5.76	7.20
<i>Older adults</i>						
Lower fit	1.31	2.71	3.97	6.05	3.50	4.23
Higher fit	4.09	6.18	4.60	7.61	4.48	5.17

	Switch					
	40		60		80	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<b>Intensity</b>						
All participants	11.16	13.68	13.92	15.89	18.70	16.55
<b>Age</b>						
Younger adults	10.09	10.20	12.65	11.80	18.15	12.46
Older adults	12.44	17.04	15.44	19.81	19.36	20.62
<b>Fitness</b>						
Lower fit	8.73	10.38	11.56	11.73	19.84	13.62
Higher fit	13.90	16.39	16.57	19.40	17.41	19.48
<b>Age X Fitness</b>						
<i>Younger adults</i>						
Lower fit	8.59	10.31	13.86	13.04	20.07	12.38
Higher fit	12.05	10.03	11.05	10.11	15.63	12.5
<i>Older adults</i>						
Lower fit	8.93	10.82	8.33	9.05	19.52	15.65
Higher fit	15.74	21.15	22.10	24.71	19.20	24.93

*ANNEXE 3*

*Formulaire de consentement*



**UQÀM**

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

A. Information

**TITRE DU PROJET :**

L'EFFET DE L'INTENSITÉ D'UN EXERCICE CARDIOVASCULAIRE SUR LE CONTRÔLE DE L'ATTENTION CHEZ LES JEUNES ADULTES ET LES AÎNÉS.

**RESPONSABLES DU PROJET :**

Chercheur principal

Dr Louis Bherer Ph.D, professeur en psychologie à l'Université du Québec à Montréal, chercheur à l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal et directeur du Laboratoire d'Étude sur la Santé Cognitive des Aînés (LESCA).

Co-chercheur

Véronique Labelle Ph.D\Psy.D (c), candidate au doctorat en neuropsychologie à l'Université du Québec à Montréal.

Collaborateurs

Dr Laurent Bosquet Ph.D, professeur au département de kinésiologie de l'Université de Montréal et chercheur associé à l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal.

Dr Mark Smilovitch, MD, FRCPC, cardiologue au Centre universitaire de santé McGill.

Dr Thien Tuong Minh Vu, MD, gériatre au CHUM – St-Luc

Said Mekary M.Sc. (c), candidat à la maîtrise en physiologie de l'exercice à l'Université de Montréal / Institut de Cardiologie de Montréal.

#### I- PREAMBULE :

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche.

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire d'information et de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet ou aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

#### II- OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE :

Ce projet de recherche doctoral vise à clarifier la relation entre l'intensité d'un exercice cardiovasculaire et la cognition (capacité attentionnelle). Pour ce faire, trente (30) jeunes adultes âgés entre vingt (20) et trente (30) ans et trente (30) aînés âgés entre soixante (60) et soixante-dix (70) ans seront recrutés. Ces derniers auront au départ une bonne ou une moins bonne condition physique et seront évalués à l'aide d'un protocole d'effort physique sur ergocycle et d'une tâche de contrôle attentionnel. Les données recueillies permettront de clarifier les résultats obtenus lors d'études antérieures et ainsi nous aider à mieux comprendre l'impact direct de l'exercice physique de diverses intensités sur les fonctions cérébrales. La durée totale de ce projet de recherche est estimée à vingt-quatre mois (c-à-d : De octobre 2008 à octobre 2010).

#### III- DEROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Pour participer à cette étude, vous devrez compléter le Q-AAP avec succès. Il s'agit d'un questionnaire d'aptitude à l'activité physique. Notez toutefois que si vous êtes âgé de 45 ans et plus, vous devrez aussi compléter une évaluation médicale avant d'entamer l'étude. Cette dernière, répartie sur deux rencontres, vous sera offerte gratuitement et sera réalisée par le médecin gériatre et par le cardiologue. Par la suite, indépendamment de votre âge, votre participation consistera en trois rencontres d'une durée moyenne de 90 minutes chacune. Afin de contrôler un éventuel effet d'entraînement, les trois rencontres devront être réalisées dans une période de 4 semaines. Notons que les deuxièmes et troisièmes rencontres devront être séparées d'au moins 72 heures. Par ailleurs, ces deux dernières



rencontres seront réalisées au même moment de la journée, au minimum 3 heures après le dernier repas. Il est important de noter ici qu'il vous est demandé de diminuer votre charge d'entraînement, ainsi que de ne pas boire d'alcool, de café ou de thé, 12 heures précédant les rencontres 2 et 3. Bien qu'il soit impossible de boire de l'eau pendant les séances d'effort physique, vous pourrez vous hydrater durant les pauses.

Lors de la première rencontre, vous complétez une évaluation neuropsychologique visant à évaluer l'attention, la mémoire et l'humeur. Puis, vous aurez l'occasion de vous familiariser avec l'ergocycle qui sera utilisé lors de la mesure de la capacité cardiorespiratoire (c-à-d. : deuxième rencontre) et lors de la session expérimentale (c-à-d. : troisième et dernière rencontre). Toujours lors de cette même séance, une période de familiarisation avec le dispositif expérimental utilisé pour mesurer la cognition est prévue. Ce dernier consiste en deux boutons de réponse disposés sur les poignées de l'ergocycle.

Lors de la deuxième rencontre, vous complétez une évaluation de la capacité cardiorespiratoire. Pour ce faire, vous devrez réaliser un test comportant un effort progressif et important sur un ergocycle. Un masque vous sera installé pour mesurer la consommation d'oxygène. Il sera posé deux minutes avant le début du test. Vous devrez le conserver jusqu'à la fin du test, soit entre 8 et 16 minutes selon votre niveau de condition physique. Le test se terminera quand vous ne parviendrez plus à maintenir la puissance requise.

Lors de la troisième et dernière rencontre, vous réaliserez la tâche cognitive informatisée à cinq (5) reprises. D'abord, lors du premier bloc, vous réaliserez la tâche alors que vous êtes au repos (c-à-d. : assis sur l'ergocycle, mais sans pédaler). Pour les trois (3) blocs suivants, vous devrez réaliser la tâche cognitive, cette fois-ci, tout en pédalant à des intensités variables correspondant à votre capacité cardiorespiratoire telle qu'identifiée lors de la deuxième rencontre. Finalement, vous complétez, pour une dernière fois, la tâche cognitive au repos. Notez qu'une période de récupération d'une durée de vingt (20) minutes est prévue entre chaque bloc afin d'éviter un phénomène de fatigue.

1 <sup>ère</sup> rencontre (90 minutes)	2 <sup>e</sup> rencontre (90 minutes)		3 <sup>e</sup> rencontre (90 minutes)
- Évaluation neuropsychologique  - Séance de familiarisation sur l'ergocycle  - Séance de familiarisation avec le dispositif expérimental	- Évaluation de la capacité cardiorespiratoire  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">Ne pas manger 3 heures avant cette rencontre</div>	Minimum  72 heures	- Session expérimentale (tâche cognitive + tâche de pédalage)  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">Ne pas manger 3 heures avant cette rencontre</div>

Notez que tous vos tests auront lieu au Laboratoire d'Étude de la Santé Cognitive des Aînés (LESCA) situé au Centre de recherche de l'IUGM. Notez également que toutes les sessions sont planifiées selon votre disponibilité.

#### IV- RESPONSABILITE DU SUJET A LA RECHERCHE

Tel que mentionné dans la section précédente, il vous est demandé de ne pas manger pendant les trois heures précédant les rencontres 2 et 3.

#### V- RISQUES POUVANT DECOULER DE VOTRE PARTICIPATION

Comme lors de tout effort de courte durée, vous pourrez ressentir un certain malaise transitoire, une fatigue générale importante ou des étourdissements, particulièrement à l'arrêt de l'effort. Dans des cas très rares, des incidents sérieux d'ordre cardiaque pourraient apparaître.

Toutes les précautions seront prises afin que les tests se déroulent de la manière la plus sécuritaire possible. L'évaluatrice sur place détient un certificat valide de réanimation cardio-respiratoire (RCR) et en défibrillation externe automatisé (DEA). De plus, s'ils le jugent nécessaire, le cardiologue ou le gériatre, sera présent lors des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> rencontres des personnes âgées.

#### VI- PROCEDURE EN CAS D'URGENCE MEDICALE:

Veillez noter que l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal n'est pas un hôpital de première ligne. Par conséquent, advenant une condition médicale qui nécessiterait des soins immédiats, les premiers soins vous seraient dispensés par le personnel en place et des dispositions seraient prises afin de vous transférer, si nécessaire, aux urgences d'un hôpital avoisinant.

#### VII- INCONVENIENTS PERSONNELS POUVANT DECOULER DE MA PARTICIPATION :

Votre participation à ce projet de recherche pourrait vous occasionner les incon vénients suivants : le transport, le déplacement, l'attente, le temps consacré à la recherche et, pour certaines personnes, le port du masque. Également, tel que mentionné dans la section précédente, vous pourriez ressentir certains inconforts, de la gêne, de l'anxiété, de la frustration, du stress ou de la fatigue. De plus, vous pourriez ressentir un certain sentiment de contrainte à devoir restreindre votre consommation de nourriture à diminuer votre charge d'entraînement, ainsi qu'à ne pas boire d'alcool, de café ou de thé 12 heures avant les rencontres 2 et 3.

#### VIII- AVANTAGES POUVANT DECOULER DE VOTRE PARTICIPATION :

Il se peut que vous ne retiriez aucun bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche. Toutefois, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances dans le domaine de la neuropsychologie cognitive du vieillissement et de la kinésiologie. En effet, votre participation à cette étude nous permettra, à l'avenir, de mieux comprendre l'effet de l'activité physique sur le fonctionnement cérébral.

De plus, si vous le désirez, votre résultat au test de VO<sub>2</sub>max vous sera remis À titre de compensation supplémentaire, à la fin de l'étude, l'expérimentateur prendra le temps de vous exposer les bienfaits d'un style de vie actif sur votre santé physique et cérébrale.



#### IX - INDEMNISATION EN CAS DE PREJUDICE

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit par suite de l'administration d'un médicament ou de toute autre procédure reliée au projet de recherche, vous recevrez tous les soins médicaux nécessaires, sans frais de votre part.

#### X- DROIT DU SUJET À LA RECHERCHE :

En acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leur responsabilité civile et professionnelle.

#### XI- COMPENSATION

Une indemnité compensatoire de cinquante dollars (50\$) vous sera remise lors de votre dernière séance.

#### XII - PARTICIPATION VOLONTAIRE DU SUJET ET RETRAIT DU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer du projet de recherche à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur.

#### XIII- ARRET DU PROJET DE RECHERCHE PAR LE CHERCHEUR

Le chercheur responsable de l'étude et le comité d'éthique de la recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, peuvent aussi mettre fin à votre participation, sans votre consentement, pour les raisons suivantes :

- Si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche
- Si le chercheur responsable de l'étude pense que cela est dans votre meilleur intérêt. De fait, vous pouvez être retiré de l'étude si les critères suivants devaient être observés en cours d'expérimentation :
  - Anomalie du tracé électrocardiographique au repos ou au cours de l'exercice (mise en évidence par le cardiologue). Dans l'éventualité où un tel cas de figure devait se présenter, vous seriez référé(e) au Centre EPIC de l'Institut de Cardiologie de Montréal pour une évaluation complète.
  - Indice d'inaptitude à l'activité physique tel que révélé par le Q-AAP
- S'il existe des raisons administratives d'abandonner l'étude.

#### XIV- CONFIDENTIALITE

Durant votre participation à ce projet de recherche, le chercheur responsable du projet ainsi que son personnel recueilleront et consigneront dans un dossier de recherche les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires à la bonne conduite du projet de recherche seront recueillis.

Ces renseignements comprendront votre nom, votre sexe, votre date de naissance, votre niveau de scolarité, votre poids, votre grandeur ainsi que vos résultats à tous les tests (évaluation neuropsychologique et de l'humeur, Questionnaire d'aptitude à l'activité physique; test d'effort physique et épreuve cognitive informatisée).

Tous ces renseignements recueillis au cours du projet de recherche demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de ces renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservé par le chercheur responsable du projet de recherche dans un lieu sécuritaire.

Le chercheur responsable utilisera les données du projet de recherche à des fins de recherche dans le but de répondre aux objectifs scientifiques du projet de recherche décrits dans le formulaire d'information et de consentement. Vos renseignements personnels seront détruits cinq ans après la fin du projet de recherche.

Les données du projet de recherche pourront être publiées dans des revues médicales ou partagées avec d'autres personnes lors de discussions scientifiques. Aucune publication ou communication scientifique ne renfermera quoi que ce soit qui puisse permettre de vous identifier.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche pourra être consulté par une personne mandatée par le comité d'éthique de la recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, par une personne mandatée par le ministre de la Santé et des Services sociaux ou par des organismes gouvernementaux mandatés par la loi. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous rapidement, vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire maintenu par le chercheur responsable.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier l'exactitude des renseignements recueillis aussi longtemps que le chercheur responsable du projet de recherche, l'établissement ou l'institution de recherche détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique du projet de recherche, vous n'aurez accès à certaines de ces informations qu'une fois l'étude terminée.

#### XV- DIVULGATION DE TOUT NOUVEAU RENSEIGNEMENT :

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet de recherche qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai.

## XVI- AUTORISATION DE TRANSMETTRE LES RÉSULTATS

Autorisez-vous les personnes responsables de ce projet de recherche à transmettre vos résultats à votre médecin traitant si cela était pertinent ?

Oui

Non

Nom et adresse du médecin : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## XVII- PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous croyez que vous éprouvez un problème de santé relié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec la responsable du projet de recherche aux numéros suivants :

Louis Bherer Ph.D

☎ (514) 987-3000 poste 1944 ou ☎ (514) 340-3540 poste 4020

Véronique Labelle Ph.D.\Psy.D. (en cours)

☎ (514) 340-3540 poste 2312

Pour toute question concernant vos droits en tant que sujet participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler vous pouvez communiquer avec le commissaire local aux plaintes et à la qualité des services de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal à l'adresse suivante : 4565, chemin Queen Mary, Montréal (H3W 1W5). Tél. : (514) 340-3517.

## XVIII- SURVEILLANCE DES ASPECTS ETHIQUES DU PROJET DE RECHERCHE

Le comité d'éthique de la recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, il approuvera au préalable toute révision et toute modification apportée au formulaire d'information et de consentement et au protocole de recherche. Pour toute information, vous pouvez rejoindre le secrétariat du comité d'éthique de la recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal au (514) 340-2800 poste 3250.

B. Consentement

## XIX- CONSENTEMENT DU SUJET DE RECHERCHE ET D'ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je déclare avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, particulièrement quant à ma participation au projet de recherche et l'étendue des risques

qui en découlent. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à toutes mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision.

Je consens librement et volontairement à participer à ce projet. On me remettra une copie signée du présent formulaire d'information et de consentement.

En signant le présent formulaire, je ne renonce à aucun de mes droits ni ne libère le chercheur, l'établissement, l'organisme subventionnaire ou le commanditaire de leur responsabilité civile et professionnelle.

\_\_\_\_\_  
Nom et signature du sujet de recherche

\_\_\_\_\_  
Date

XX- ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je certifie que j'ai expliqué au sujet de recherche les termes du présent formulaire, que j'ai répondu aux questions que le sujet de recherche avait à cet égard et que j'ai clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice et je m'engage à respecter ce qui a été convenu au formulaire de consentement.

\_\_\_\_\_  
Nom et signature du chercheur ou de son représentant

\_\_\_\_\_  
Date

XXI- ETUDES ULTERIEURES

Acceptez-vous qu'un membre de l'équipe de recherche reprenne contact avec vous pour vous proposer de participer à d'autres projets de recherche?

Oui       Non     

Il s'agirait alors de projets similaires à celui-ci. Seuls les responsables du projet auront accès à ces informations. Vos coordonnées ne seraient pas gardées plus de cinq ans et le délai de rappel ne dépasserait donc pas cette période. Bien sûr, lors de cet appel, vous serez libre d'accepter ou de refuser, en tout temps, de participer aux projets de recherche proposés.

*ANNEXE 4*

Approbation du comité d'éthique



### CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Le comité d'éthique de la recherche de l'IUGM a examiné la demande pour le projet intitulé:

**«L'effet de l'intensité d'un exercice cardiovasculaire sur le contrôle de l'attention chez les jeunes adultes et les aînés» (réf. : 2008-0603)**

présenté par : **M. Louis Bherer, Ph.D.**

et juge la recherche acceptable au point de vue éthique.

  
Paule Savignac, Présidente

25 juin 2008

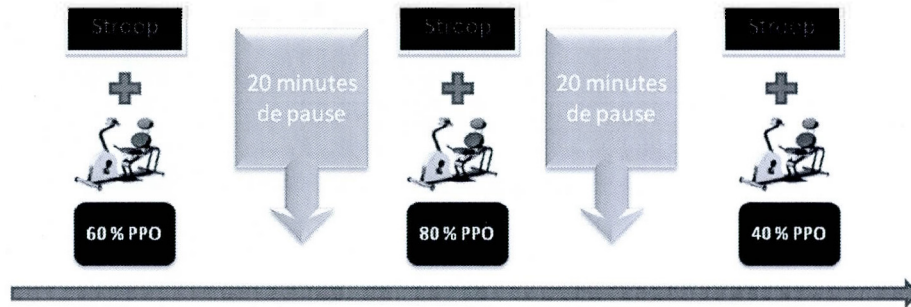
**Ce rapport est valide jusqu'au : 25 juin 2009**

*ANNEXE 5*

Schéma de la séance expérimentale



40	60	80
<b>60</b>	<b>80</b>	<b>40</b>
80	40	60



*ANNEXE 6*

Schéma de la tâche expérimentale et exemple abrégé d'une liste pseudo-randomisée de stimuli de la condition d'alternance

Dénomination	Inhibition	Alternance	
		Essais alternés (switch)	Essais non-alternés (non-switch)
Donc	Bleu	Rouge Lecture	Rouge Lecture
Quand	Rouge	Bleu Inhibition	Bleu Inhibition

Essais	Stimuli présenté à l'écran	Essais alternés
1	Bleu	
2	Rouge	
3	Rouge	
4	Rouge	x
5	Bleu	
6	Bleu	
7	Bleu	
8	Rouge	
9	Bleu	x
10	Rouge	
11	Rouge	
12	Bleu	
13	Bleu	x
14	Rouge	
15	Rouge	

*ANNEXE 7*

Preuve de soumission article 2

Medicine & Science in Sports & Exercise  
Fitness level moderate executive control disruption during exercise regardless of age  
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:

Full Title: Fitness level moderate executive control disruption during exercise regardless of age

Short Title: EXECUTIVE CONTROL DISRUPTION DURING EXERCISE

Article Type: Original Investigation

Keywords: Acute exercise; Cardiovascular fitness; Prefrontal lobes; Stroop; Ageing.

Corresponding Author: Veronique Labelle, M.Ps.  
University of Quebec in Montreal  
Montreal, Quebec CANADA

Corresponding Author's Institution: University of Quebec in Montreal  
First Author: Veronique Labelle, M.Ps.

Order of Authors:  
Veronique Labelle, M.Ps.  
Laurent Bosquet, Ph.D  
Saïd Mekary, M.Sc.  
Thien Tuong Minh Vu, M.D.  
Mark Smilovitch, M.D.  
Louis Bherer, Ph.D.

Abstract: Purpose: Assess the effect of exercise intensity, age and fitness levels on executive and non-executive cognitive tasks during exercise. Methods: Participants completed a computerized modified-Stroop task (including denomination, inhibition and switching conditions) while pedaling at 40%, 60% and 80 % of peak power output (PPO). Results: We showed that a bout of moderate (60% PPO) to high intensity (80% PPO) exercise was mainly associated with deleterious performance in executive component of the computerized modified-Stroop task (i.e. switching condition), especially in lower fit individuals ( $p < .01$ ). Age did not have a major effect on the relationship between acute cardiovascular exercise and cognition. Conclusion: Acute exercise can momentarily impair executive control equivalently in younger and older adults, but individual's fitness level moderates this relation.

## MSSE Submission Confirmation

---

Medicine & Science in Sports & Exercise <msse@acsm.org> 2 mars 2013 13:16  
À : Veronique Labelle <veronique.g.labelle@gmail.com>

Mrs Labelle,

Your submission, "Fitness level moderate executive control disruption during exercise regardless of age," has been received by the Medicine & Science in Sports & Exercise Editorial Office.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Editorial Manager as an Author.

<http://msse.edmgr.com/>

Your username is: Veronique\_MSSE

Your manuscript will be given a reference number once an Associate Editor has been assigned. You will receive notice of the acting Associate Editor when he/she accepts the assignment.

Thank you for submitting your work to this journal.

Regards,

Medicine & Science in Sports & Exercise

MSSE Editorial Office  
401 West Michigan Street  
Indianapolis, IN 46202-3233  
USA  
P (317) 634-8932  
F (317) 634-8927  
[msse@acsm.org](mailto:msse@acsm.org)

*Powered by Editorial Manager® and Preprint Manager® from Aries Systems Corporation*