

Université de Montréal

Évaluation de la durée des effets aigus de l'exercice sur la cognition

par
Mélie St-Laurent

Département de kinésiologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de maîtrise
en sciences de l'activité physique

Août 2009

© Mélie St-Laurent, 2009

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :
Évaluation de la durée des effets aigus de l'exercice sur la cognition

présenté par :
Mélie St-Laurent

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Luc Proteau

.....
président-rapporteur

Laurent Bosquet

.....
directeur de recherche

Michel Audiffren

.....
examineur externe

RÉSUMÉ

Objectif: Cette étude visait à évaluer les effets aigus d'une session d'exercice aérobie sur la performance à une tâche sollicitant les fonctions cognitives exécutives et à déterminer la durée de ces effets.

Méthode: Quarante-huit participants universitaires ont été divisés en deux groupes expérimentaux et un groupe contrôle. L'intervention expérimentale consistait à 30 minutes d'exercice à une intensité sous-maximale sur tapis roulant. Les deux groupes expérimentaux ont complété la tâche de Stroop soit immédiatement (groupe 1) ou 10 minutes (groupe 2) après la session d'exercice. Le groupe contrôle a complété la même tâche cognitive mais sans pratique d'exercice.

Résultats: Les analyses statistiques indiquent qu'il n'y a pas d'effet d'amélioration de la performance cognitive et ce, peu importe le délai d'exécution de la tâche de Stroop suite à l'exercice.

Conclusion : Une seule session d'exercice n'a aucun effet sur les fonctions exécutives. Les limites de l'étude sont présentées en relation avec les résultats obtenus. Les implications des résultats sont discutées en terme de retombées pour les recherches futures.

Mots-clés : Exercice, cognition, attention, inhibition, Stroop, fonction exécutive

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to evaluate the effects of a brief bout of physical exercise on executive cognitive functions and to determine the duration of these effects.

Method: Forty-eight healthy, undergraduate male students were divided into two experimental groups and one control group. The experimental intervention was a 30 minutes aerobic exercise on a treadmill. Both groups completed the Stroop test either immediately after the exercise (group 1) or 10 minutes later (group 2). The control group performed the same cognitive task but without any exercise.

Results: Statistical analyses did not indicate an effect of exercise on cognitive functioning, whether the cognitive task was performed immediately or 10 minutes after the exercise.

Conclusion: One bout of exercise did not influence performance on a cognitive functions task. Results are discussed in terms of methodological limitations and future research implications.

Keywords : Acute exercise, cognition, attention, inhibition, Stroop, executive function

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	VIII
INTRODUCTION	1
FONDEMENT THÉORIQUE	3
<i>Influence de la durée de l'exercice.....</i>	<i>3</i>
<i>Mécanismes sous-jacents</i>	<i>6</i>
<i>Fonctions et tâches cognitives étudiées</i>	<i>8</i>
OBJECTIF DE L'ÉTUDE.....	19
MÉTHODOLOGIE.....	20
PARTICIPANTS	20
PROCÉDURES GÉNÉRALES.....	21
TEST INCRÉMENTÉ.....	22
EXERCICE CONTINU.....	22
TÂCHE COGNITIVE.....	23
ANALYSE STATISTIQUE.....	24
RÉSULTATS.....	26
MOYENNES DES TEMPS D'EXÉCUTION	26
TAILLE DE L'EFFET	27
DISCUSSION	30
FORCES ET LIMITES MÉTHODOLOGIQUES.....	32
CONCLUSION	35
RÉFÉRENCES.....	36

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE LA VARIANCE SUR LES MOYENNES DES TEMPS D'EXÉCUTION (EN SECONDES) À LA TÂCHE DE STROOP.....	26
TABLEAU 2 : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DES ÉTUDES ÉVALUANT LE LIEN ENTRE L'EXERCICE ET LES FONCTIONS PERCEPTIVO-MOTRICES.....	X
TABLEAU 3 : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DES ÉTUDES ÉVALUANT LE LIEN ENTRE L'EXERCICE ET LA MÉMOIRE.....	XII
TABLEAU 4 : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DES ÉTUDES ÉVALUANT LE LIEN ENTRE L'EXERCICE ET LES FONCTIONS EXÉCUTIVES.....	XIII
TABLEAU 5 : PROTOCOLE DU TEST INCRÉMENTÉ.....	XV

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Moyennes des temps d'exécution à la tâche de Stroop (sec ; écart type) et taille de l'effet entre les groupes (contrôle vs immédiat ; contrôle vs 10 min post).....28

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

BPM	Battements par minute
CERSS	Comité d'éthique de la recherche des sciences de la santé
cm	Centimètre
CO ₂	Dioxyde de carbone
<i>dl</i>	Degré de liberté
ES	<i>Effect size</i>
FCmax	Fréquence cardiaque maximale
h	Heure
IMC	Indice de masse corporelle
kg	Kilogramme
km	kilomètre
m	Mètre
ml	Millilitre
NS	Non significatif
PaCO ₂	Pression artérielle partielle en dioxyde de carbone
Q-AAP	Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique
TRC	Temps de réaction au choix
TRS	Temps de réaction simple
VAM	Vitesse aérobie maximale
VO ₂ max	Consommation maximale d'oxygène

REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer toute ma reconnaissance à Laurent Bosquet de m'avoir aidée à finaliser ce mémoire. Merci à mes collègues de parcours au cycle supérieur, en particulier à Mathilde St-Louis-Deschênes. Merci pour ton amitié et ton énergie durant toutes ces journées d'études interminables. Merci à Dave Elleberg de m'avoir permis de débiter la maîtrise en sciences de l'activité physique.

Je tiens à remercier aussi mes bonnes amies Monique Jutras, Lanie Rufiange et Marie-Claude Poirier pour leur écoute. Un gros merci à mes amies d'enfance Isabelle Daignault et Julie Desrosiers. Merci de votre présence durant les plaisirs et les bouleversements des études supérieures et de la vie quotidienne. Votre expérience vécue aux études supérieures m'a été d'un grand recours. Vous êtes extraordinaires et je vous adore. Votre soutien et vos encouragements sont toujours grandement appréciés.

Merci à mes parents d'avoir cru en moi et de m'avoir supportée. Votre réconfort en provenance du Bas-Saint-Laurent était indispensable. Vous avez toujours été pour moi un modèle de force et de détermination. Un merci aussi tout spécial à mon amour qui a su être formidable jusqu'à la dernière ligne d'écriture de ce mémoire. Finalement, merci à tous les étudiants qui ont accepté de participer à mon projet de recherche.

INTRODUCTION

Les nombreux bienfaits de l'exercice sur la santé physique et mentale sont largement documentés chez les populations de tous âges. Effectivement, les effets physiologiques de l'exercice sont bien connus, notamment dans la prévention de diverses pathologies telles les maladies cardiovasculaires, le diabète, l'ostéoporose et l'obésité (Abbott, Rodriguez, Burchfiel, & Curb, 1994; Arroll & Beaglehole, 1992a, 1992b; Burchfiel et al., 1995; Donnelly et al., 2009; Katzmarzyk et al.; Kohrt, Bloomfield, Little, Nelson, & Yingling, 2004; Shedd et al., 2007). Depuis une trentaine d'années, la relation entre l'activité physique et la santé psychologique est de plus en plus étudiée et les résultats font part d'une diminution des symptômes de la dépression et de l'anxiété chez plusieurs personnes (Kubesch et al., 2003). Un régime régulier d'exercice semble aussi avoir un effet positif sur différents processus cognitifs. Chez l'enfant, par exemple, la recherche indique que l'exercice améliore non seulement la santé physique mais aussi la réussite scolaire (Sibley & Etnier, 2003; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008). L'activité physique semble également bénéfique dans le processus de vieillissement et est associée à la prévention des risques de maladies dégénératives (Colcombe, Kraemer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004). Par exemple, plusieurs mois d'activité physique pratiquée de façon régulière améliore les capacités mentales et prévient la détérioration des fonctions cognitives chez les personnes âgées (Colcombe & Kramer, 2003).

Bien que la littérature soutienne de façon non équivoque les effets positifs de l'exercice sur la santé mentale, les résultats issus des études traitant des bienfaits de l'exercice sur la performance cognitive sont plus discordants, en particulier en ce qui a trait à la nature de l'exercice (type, durée et intensité d'exercice) nécessaire pour obtenir de tels bienfaits. Certaines études se sont intéressées aux effets de l'exercice chronique alors que d'autres se sont limitées aux effets immédiats d'une seule session d'exercice. En ce qui concerne l'effet immédiat, plusieurs recherches récentes suggèrent qu'une seule session d'exercice améliore différentes fonctions cognitives de haut niveau telles que l'attention, la mémoire et la prise de décision (Brisswalter, Collardeau, & Rene, 2002; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). La présente recension des écrits tente d'établir une relation entre l'effet d'une seule session d'exercice, particulièrement de nature aérobie, et la cognition. Le lien entre l'exercice et la performance cognitive sera discuté en abordant les points suivants : l'influence de la durée de l'exercice, les mécanismes sous-jacents et les fonctions cognitives étudiées dans les études recensées.

FONDEMENT THÉORIQUE

Influence de la durée de l'exercice

Exercice de courte durée

Les premières études qui ont mesuré l'effet d'une seule session d'exercice chez l'adulte s'intéressaient aux répercussions de la fatigue aiguë sur la cognition suite à un effort (Bard & Fleury, 1978; Bender & McGlynn, 1976; Gutin, 1973; Gutin & DiGennaro, 1968a; McGlynn, Laughlin, & Bender, 1977; Powell, 1975, 1976; Wrisberg & Herbert, 1976). On cherchait à déterminer si certains processus cognitifs étaient affectés par l'épuisement dû à un exercice intense. Les protocoles comprenaient habituellement des exercices de courte durée (variant de 1 à 19 minutes) pratiqués à des intensités élevées. En général, la tâche cognitive était présentée immédiatement suite à l'exercice. Le but était d'induire une fatigue centrale qui agit sur le système nerveux afin de vérifier s'il y avait une diminution de la performance cognitive. De ces études découlait la question suivante: est-ce qu'une seule session d'exercice de courte durée peut faciliter ou modifier la vitesse de traitement de l'information, la résolution de problèmes, la prise de décision et la mémoire? Selon la revue des effets de l'exercice sur la cognition de Tomporowski (2003), il est possible qu'une brève période d'exercice d'intensité élevée soit un stimulus assez important pour influencer la performance cognitive. Il suggère cependant que les résultats contradictoires retrouvés dans la littérature s'expliquent probablement par le fait que la période de récupération, suite à la

fatigue physiologique induite par un exercice intense de courte durée, se fait rapidement et varie d'une étude à l'autre. De plus, les intensités des exercices varient considérablement et souvent, ne sont pas assez élevées pour atteindre un état de fatigue significatif. Tomporowski (2003) propose toutefois qu'il pourrait être difficile de reproduire l'état de fatigue et de mesurer ses effets sur la cognition dans les conditions simulées en laboratoire. Malgré le nombre important d'études recensées par Tomporowski (2003), sa recension regroupe des études dont le moment d'évaluation de la tâche cognitive était différent (pendant ou après l'exercice). Or, la littérature suggère qu'il pourrait être pertinent de séparer ces deux moments d'évaluation pour bien distinguer l'effet de l'exercice sur la performance cognitive.

Exercice de longue durée

Les bienfaits psychologiques suite à un exercice de longue durée ont largement été discutés jusqu'à ce jour (Scully, Kremer, Meade, Graham, & Dudgeon, 1998). Il est même suggéré que l'exercice aurait des effets positifs sur la créativité suite à 20 minutes de danse aérobie (Gondola, 1987). Les résultats de plusieurs études permettent d'affirmer qu'un exercice sous-maximal et de longue durée améliore le rendement de différentes fonctions cognitives chez l'adulte (Brisswalter, Collardeau, & Rene, 2002; Tomporowski, 2003). Powell (1975) a indiqué que l'intensité d'exercice peut influencer les résultats de façon significative. Il a rapporté qu'une seule session d'exercice sous-maximal peut mener à des améliorations à court terme sur le plan des fonctions

cognitives, mais qu'à une intensité maximale, l'exercice peut affecter négativement la cognition. En 1986, Tomporowski & Ellis ont recensé 27 études classées selon la durée et l'intensité de l'exercice. Les auteurs ont suggéré que les études ayant administré des protocoles d'exercice de courte durée (variant de 5 à 15 minutes) à des intensités modérées ont des effets plus grands sur le fonctionnement cognitif, comparativement aux exercices de plus de 15 minutes et à des intensités faibles ou modérées. Une méta-analyse supporte toutefois moins bien l'hypothèse que l'exercice influence significativement la cognition (Etnier et al., 1997). En effet, les auteurs concluent que malgré les résultats significatifs, la grandeur des effets de l'exercice sur la performance cognitive est petite. Cependant, les auteurs précisent que l'analyse statistique des 134 études permet tout de même de suggérer qu'une seule session d'exercice ainsi qu'un régime régulier d'activité physique peuvent améliorer les performances cognitives.

Dans une recension plus récente, Tomporowski (2003) conclut que les individus ont une meilleure concentration et sont mieux préparés à la résolution de problèmes complexes suite à un exercice aérobie. Ces résultats sont tirés de 11 études traitant de l'exercice aérobie sous-maximal à des durées variant entre 20 et 60 minutes. Il est à noter que les études comparées ont des protocoles d'exercice qui varient considérablement, ce qui pourrait expliquer la divergence des conclusions émanant de ces différentes analyses de la littérature. Par exemple, on s'intéresse à l'effet d'exercices de type musculaire et de type aérobie, ou encore, aux études qui se sont penchées sur l'effet d'une seule session d'exercice ou d'entraînements réguliers. On retrouve aussi une large sélection de tâches cognitives utilisées, de tâches simples (par exemple TRS) à plus complexes reliées à la prise de décision ou la résolution de problèmes. Enfin, la

performance cognitive est aussi évaluée pendant ou immédiatement suite à l'exercice. Néanmoins, la recherche démontre des évidences empiriques considérables permettant de supporter l'argument selon lequel une seule session d'exercice modifie les capacités cognitives.

Mécanismes sous-jacents

Une étude récente a démontré par imagerie fonctionnelle un lien entre la réponse hémodynamique et la performance à une tâche de Stroop (Leon-Carrion et al., 2008). Cette dernière permet de solliciter certaines fonctions cognitives associées à la région préfrontale du cerveau (voir section *Attention et inhibition* page 15). Les auteurs ont observé une plus grande concentration d'hémoglobines oxygénées dans la région préfrontale du cerveau chez les sujets ayant effectué plus rapidement la tâche de Stroop. Ceci suggère qu'une plus grande activation cérébrale, telle une meilleure oxygénation, permettrait d'améliorer la performance cognitive. D'ailleurs, l'augmentation du volume sanguin et de l'oxygénation au niveau cérébral serait associée à une plus grande activité neuronale (Bhambhani, Malik, & Mookerjee, 2007). De plus, les résultats ont démontré que l'oxygénation du cortex préfrontal est augmentée pendant un exercice sous-maximal à une intensité modérée (Bhambhani, Malik, & Mookerjee, 2007). Il existe donc un lien entre le débit sanguin cérébral, la pression artérielle partielle en dioxyde de carbone (PaCO_2) et la ventilation lors d'un exercice aérobie.

La recherche révèle que les variations de la pression artérielle partielle en dioxyde de carbone (PaCO_2) jouent un rôle important dans la régulation du débit sanguin cérébral (Bhambhani, Malik, & Mookerjee, 2007; Ogoh, Hayashi, Inagaki, Ainslie, & Miyamoto, 2008). L'exercice aérobie augmente la PaCO_2 , du moins jusqu'à une certaine intensité, ce qui induit une vasodilatation cérébrale et donc une augmentation du débit sanguin. Un exercice d'intensité élevée aura cependant l'effet opposé. Pendant l'exercice, la ventilation est contrôlée par des chémorécepteurs périphériques et centraux sensibles aux changements de concentration artérielle de CO_2 et permet de maintenir un pH constant. Par exemple, lors d'un test incrémenté, la PaCO_2 augmente jusqu'à l'atteinte du seuil ventilatoire. À ce point, on observe une diminution du pH sanguin. Cette diminution stimule les chémorécepteurs qui induisent une réponse ventilatoire importante afin de maintenir le système en équilibre. L'hyperventilation qui en résulte va permettre de diminuer la PaCO_2 jusqu'à l'atteinte de la consommation maximale d'oxygène (VO_2max). Cependant, la diminution de la PaCO_2 observée au niveau central induira une vasoconstriction résultant en une diminution du volume sanguin cérébral et de l'oxygénation cérébrale. Le seuil ventilatoire se produit entre 72 et 85% du VO_2max (Dekerle, Baron, Dupont, Vanvelcenaher, & Pelayo, 2003; Green, Crews, Bosak, & Peveler, 2003). Il est donc suggéré que les intensités d'exercice égales et supérieures au seuil ventilatoire sont associées à une diminution du débit sanguin cérébral reliée à l'hypocapnie. On peut conclure de ces études que l'intensité d'exercice est un paramètre important à considérer.

Fonctions et tâches cognitives étudiées

Les recensions des écrits et la méta-analyse abordées précédemment (Etnier et al., 1997; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986) mettent en lumière l'influence de l'exercice physique sur la cognition en regroupant plusieurs protocoles différents en ce qui a trait aux conditions de l'exercice et au moment de la présentation de la tâche cognitive. La présente recension se centre spécifiquement sur les effets immédiats d'une seule session d'exercice dont l'évaluation de la performance à la tâche cognitive a lieu suite à l'exercice. Dans la littérature, plusieurs types d'instruments de mesure ont été utilisés afin de vérifier l'effet immédiat d'une seule session d'exercice sur les processus cognitifs. Par exemple, les auteurs ont utilisé des tâches sensori-motrices (Bard & Fleury, 1978; Fleury & Bard, 1987; Fleury, Bard, Jobin, & Carriere, 1981), perceptivo-motrices (Collardeau, Brisswalter, & Audiffren, 2001; Hillman, Snook, & Jerome, 2003; Wrisberg & Herbert, 1976), psychomotrices (McAdam & Wang, 1967) et neuropsychologiques (Sparrow & Wright, 1993). Il est difficile de délimiter et de catégoriser les fonctions cognitives sollicitées par les tests utilisés. En effet, pour une même tâche cognitive, certains auteurs discutent de processus automatiques et d'autres, de raisonnement et de manipulation mentale. Dans le cadre de ce projet de recherche et compte tenu de la diversité des classifications du domaine, les études seront classifiées selon les fonctions cognitives choisies sous les trois grandes catégories suivantes : les fonctions perceptivo-motrices (voir tableau 2), la mémoire (voir tableau 3) et les fonctions exécutives (voir tableau 4).

Fonctions perceptivo-motrices

Cette section traite des tâches pour lesquelles la vitesse du traitement de l'information est mesurée entre la présentation d'un stimulus et la réponse ou le choix de la réponse appropriée. Plusieurs études se sont intéressées aux temps de réaction et à la vitesse de mouvement puisque ces paramètres sont considérés comme des variables importantes pour la réalisation des habilités motrices. L'exercice de longue durée (30 minutes et plus) semble avoir un effet positif sur la performance à une tâche de temps de réaction simple (TRS) (Collardeau, Brisswalter, & Audiffren, 2001; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Powell, 1976). Par exemple, Collardeau, Brisswalter, & Audiffren (2001) ont examiné l'effet d'un exercice prolongé sur une tâche de TRS chez 11 triathlètes s'entraînant sur une base régulière. Une différence significative de moins de 10 msec a été observée entre les temps de réaction mesurés avant (246 ± 12 msec) et immédiatement après (237 ± 11 msec) une course à pied de 90 minutes à une intensité égale à 72,5 % du VO_2 max.

Pour les tâches de temps de réaction au choix (TRC), seule une étude démontre un effet de l'exercice de longue durée sur la cognition. Marriott, Reilly, & Miles (1993) ont examiné l'effet de l'activité physique à une tâche de temps de réaction spécifique au soccer chez 8 joueurs et un groupe contrôle constitué également de 8 participants d'un niveau de condition physique comparable. La tâche cognitive a été évaluée au repos et suite à 45 et 90 minutes de course à pied sur tapis roulant à une intensité modérée (fréquence cardiaque moyenne de 157 bpm). Aucun effet significatif n'a été observé

chez les joueurs de soccer. Toutefois, la prise de décision chez le groupe contrôle était significativement améliorée suite à 45 minutes de course à pied. Après 90 minutes d'exercice, la performance à la tâche a diminué chez ce même groupe. Par ailleurs, d'autres études qui ont aussi évalué l'effet d'un exercice continu (course à pied et vélo) sur la performance cognitive chez de jeunes adultes ayant une condition physique similaire n'ont pas obtenu de résultat significatif sur la performance à une tâche de TRC (Hillman, Snook, & Jerome, 2003; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Travlos & Marisi, 1995). Seuls Marriott, Reilly, & Miles (1993) ont observé un effet de l'exercice, possiblement attribuable au fait que la tâche cognitive était une tâche de prise de décision spécifique au soccer. La discordance dans les résultats peut également s'expliquer par le fait que les protocoles d'exercice choisis différaient d'une étude à l'autre. Par exemple, les durées des exercices variaient entre 30 et 90 minutes. Même si les intensités de l'effort ciblées étaient similaires (entre 70 et 80% du $VO_2\text{max}$), certains protocoles augmentaient progressivement l'intensité jusqu'à l'atteinte de l'effort désiré. En ce qui a trait à la présentation de la tâche cognitive, Hillman, Snook, & Jerome (2003) ont évalué les temps de réaction avec un délai considérable, c'est-à-dire lorsque la fréquence cardiaque revenait près des valeurs pré-exercice soit 48 minutes post-exercice.

Un exercice d'une durée inférieure à 20 minutes n'a aucun effet sur la performance à des tâches de TRC, de TRS et la vitesse de mouvement et ce, peu importe l'intensité d'exercice (Bard & Fleury, 1978; Bender & McGlynn, 1976; Brisswalter, Arcelin, Audiffren, & Delignieres, 1997; Cote, Salmela, & Papathanasopoulou, 1992; Elbel, 1940; Kashihara & Nakahara, 2005; McGlynn, Laughlin, & Bender, 1977;

Meyers, Zimmerli, Farr, & Baschnagel, 1969). Par exemple, Brisswalter, Arcelin, Audiffren, & Delignieres (1997) ont mesuré l'impact de différentes intensités sous-maximales sur un ergocycle à une tâche de TRS. Chacune des quatre séances d'exercice comprenait une période d'échauffement de 6 minutes suivie de 10 minutes d'effort sur un vélo stationnaire à différentes charges de travail déterminées selon un pourcentage de la puissance maximale relative à chaque sujet (20, 40, 60 et 80%). Aucun effet n'a été trouvé et ce, peu importe le niveau d'intensité.

Les études concernant les fonctions perceptivo-motrices indiquent que l'exercice de longue durée semble avoir un effet positif sur la performance à des tâches de TRS et TRC. Toutes les études sont concordantes à l'effet que l'exercice de courte durée n'a pas d'influence sur les fonctions perceptivo-motrices.

Mémoire

Un certain nombre d'études s'est intéressé à l'effet d'une séance d'exercice sur la mémoire à court terme (Coles & Tomporowski, 2008; Davey, 1973; Powell, 1976; Sibley & Beilock, 2007; Tomporowski, Ellis, & Stephens, 1987). Ce type de mémoire permet la manipulation mentale et le maintien de l'information. Plusieurs tâches sont utilisées pour mesurer différents aspects de la mémoire à court terme. Par exemple, le test de Brown-Peterson (Brown, 1958; Coles & Tomporowski, 2008; Peterson & Peterson, 1959) permet de mesurer le maintien d'une série d'items en mémoire. D'autres

tests requièrent que les participants récitent le plus grand nombre d'éléments (chiffres ou lettres) immédiatement après les avoir entendus ou encore, de se rappeler le plus d'items possible suite à la présentation d'une liste de mots (test de rappel-libre).

Sibley & Beilock (2007) ont observé une amélioration de la performance à des tests de mémoire à court terme suite à un exercice de longue durée chez les participants ayant un niveau de base inférieur à la moyenne. La performance de ces derniers aux tests de mémoire est passée de $24,67 \pm 0,76$ items rappelés à 28. Le protocole d'exercice consistait à 30 minutes de course à pied à une intensité modérée (entre 66 et 72% de la fréquence cardiaque maximale). À l'opposé, dans l'étude de Coles & Tomporowski (2008), l'exercice n'a pas amélioré la performance à une tâche de mémoire à court terme. La durée et l'intensité de l'exercice étaient similaires, à savoir 30 minutes de vélo stationnaire à 60 % du $VO_2\text{max}$ plus 5 minutes d'échauffement et 5 minutes de retour au calme à 30 % du $VO_2\text{max}$. Les auteurs suggèrent toutefois que l'exercice peut faciliter certains aspects de la mémoire à long terme tel que mesuré par un test de mémoire de rappel-libre avec un délai de 12 minutes. Le nombre d'items rappelés a diminué de 2,5 chez le groupe contrôle (sans exercice) et n'a pas changé chez le groupe expérimental (avec exercice) comparativement au niveau de base.

Davey (1973) a présenté une tâche d'identification du stimulus exigeant aussi des processus attentionnels et de mémoire à court terme suite à différentes durées (variant de 15 secondes à 10 minutes) d'exercice sur vélo stationnaire. L'auteur a conclu que la mémoire à court terme est améliorée suite à un exercice sous-maximal de courte durée (de 30 secondes à 2 minutes) et d'intensité élevée. Il a aussi suggéré que la durée

optimale de l'exercice doit se situer entre 2 et 5 minutes avant l'exécution de la tâche cognitive puisque la performance tend à diminuer suite à 10 minutes d'exercice.

Très peu d'études publiées jusqu'à ce jour permettent d'affirmer qu'un lien existe entre l'exercice aérobic sous-maximal et la performance cognitive à des tâches exigeant la mémoire. Deux études rapportent des effets positifs de l'exercice continu sur la mémoire à court terme et une seule suggère un maintien de ces effets à plus long terme.

Fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont un ensemble de processus cognitifs qui ont comme rôle principal de faciliter l'adaptation d'un comportement à un contexte inhabituel. Les études traitant de ces fonctions portent sur la résolution de problèmes, l'apprentissage, l'attention et la capacité d'inhibition.

Résolution de problèmes

On retrouve bon nombre d'études s'étant intéressé à l'effet de l'exercice sur les fonctions exécutives de résolution de problèmes complexes. Ces fonctions sont souvent évaluées à l'aide d'exercices de calculs mathématiques. Cependant, il n'y a pas

d'évidence qu'un exercice intense de courte durée puisse améliorer la vitesse et l'exactitude de calculs mathématiques (Gutin, 1966; Gutin & DiGennaro, 1968a, 1968b; Sjoberg, 1980; Sparrow & Wright, 1993). Par exemple, la performance à une tâche de multiplication a été mesurée immédiatement après 11 minutes de vélo stationnaire à différentes intensités (0, 25, 50 et 75% de la puissance maximale), mais l'exercice n'a eu aucun effet (Sjoberg, 1980). Dans un autre ordre d'idée, une amélioration a été démontrée lors de la réalisation d'une tâche d'addition et de soustraction après un exercice de longue durée à une intensité modérée (Heckler & Croce, 1992). Des séries de problèmes mathématiques ont été administrées au repos ainsi qu'après 20 minutes et 40 minutes de course à pied sur tapis roulant pratiquée à une intensité égale à 55% du VO_2max . La tâche de résolution de problème a été présentée immédiatement, 5 minutes et 15 minutes après chaque séance d'exercice. La vitesse d'exécution était de 6 à 20 secondes plus rapide suite à l'exercice pour les trois périodes post-exercice. Il semble donc qu'un exercice de longue durée peut influencer les performances cognitives lors de résolution de problèmes complexes.

Apprentissage

Le processus d'apprentissage réfère notamment à la vitesse à laquelle un individu est en mesure d'intégrer une nouvelle information. L'étude de Winter et al. (2007) indique que l'exercice n'a eu aucun effet sur l'apprentissage, suite à 40 minutes de course à pied en gymnase à une intensité modérée (fréquence cardiaque moyenne de 140 bpm). Par ailleurs, dans le contexte d'une séance d'entraînement par intervalles, ces

auteurs ont aussi mesuré l'effet de brèves périodes d'effort répétées à des intensités élevées et ont obtenu des résultats positifs. Le protocole d'exercice consistait à 2 intervalles d'une durée de 3 minutes entrecoupées de 2 minutes de repos. L'intensité des intervalles était mesurée en fonction de la fréquence cardiaque et la moyenne était de 184 bpm. Suite aux séances d'exercice, une tâche d'apprentissage de vocabulaire était immédiatement présentée. Les auteurs ont observé que l'exercice par intervalles a amélioré de 20% la vitesse d'apprentissage comparativement au groupe contrôle et à la condition d'exercice d'intensité modérée. Cette étude permet de conclure que seul un exercice de courte durée et par intervalles semble avoir un effet sur les capacités d'apprentissage.

Attention et capacité d'inhibition

L'attention et la capacité d'inhibition sont souvent évaluées suite à une seule période d'exercice de longue durée (Ferris, Williams, & Shen, 2007; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Lichtman & Poser, 1983; Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). Ceci a été accompli, dans la majorité des études, à l'aide d'une tâche de Stroop, qui implique l'inhibition d'un processus automatique en faveur d'une réponse inhabituelle (ex. : nommer la couleur avec laquelle le mot est imprimé plutôt que de lire le mot) et l'attention associée au traitement sélectif de l'information. Les paramètres de durée et d'intensité associés à l'exercice sont très variables d'une étude à l'autre. En effet, une étude suggère que la capacité d'inhibition est facilitée immédiatement après 60 minutes de vélo stationnaire à 75% du VO₂max (Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, &

Jolles, 1996). L'étude a été menée auprès de triathlètes et de cyclistes de niveau compétitif (n=15). Le temps d'exécution de la tâche était plus long avant l'exercice ($23,3 \pm 6,3$ sec) qu'après ($20,8 \pm 4,4$ sec). Des études récentes ont également démontré une amélioration à la tâche de Stroop chez des étudiants ayant un niveau de pratique d'activités physiques élevé. Un exercice de course à pied de 20 minutes à une intensité modérée a eu un effet positif sur la performance des participants à la tâche cognitive; ces derniers étaient plus rapides à l'exécution de la tâche suite à l'exercice ($19,24 \pm 0,37$ sec) comparativement au groupe contrôle ($19,98 \pm 0,43$ sec) (Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). Ferris, Williams, & Shen (2007) ont aussi demandé à des étudiants universitaires de réaliser 30 minutes de vélo à des intensités modérée et élevée soient respectivement 56% et 75% du VO_2 max. Une amélioration de la performance post-exercice à la tâche de Stroop est observée seulement suite à l'exercice d'intensité égale à 75% du VO_2 max. Le nombre d'items nommés en 45 sec était plus élevé comparativement au niveau de base (respectivement 69 et 64 items). Les résultats révèlent qu'un exercice de longue durée facilite l'attention et la capacité d'inhibition telles qu'évaluées par la tâche de Stroop.

En somme, la performance à des tâches sollicitant les fonctions exécutives telles la résolution de problèmes, l'attention et la capacité d'inhibition semble améliorée suite à un exercice de longue durée. Par ailleurs, un exercice de courte durée semble avoir une influence sur les capacités d'apprentissage.

Les études décrites précédemment se rapportent uniquement à l'effet immédiat de l'exercice. En général, cette recension des écrits permet d'élaborer différentes conclusions concernant l'impact de l'exercice sur la performance cognitive. Il y a raison de croire que l'effet d'une seule session d'exercice sur la cognition pourrait dépendre de la durée et de l'intensité de l'exercice. En ce qui a trait à l'exercice de courte durée, seulement 3 études sur les 14 présentées dans cette section ont pu observer un changement sur la performance à des tâches cognitives. Les types et les intensités d'exercice prescrits, le niveau de condition physique des participants et les tâches cognitives utilisées rendent les protocoles très hétérogènes, ne permettant pas de définir la relation entre l'exercice de courte durée et les processus cognitifs impliqués dans l'évaluation des tâches cognitives. Une difficulté principale rencontrée dans ces études est la façon de déterminer «l'état de fatigue» puisqu'aucun facteur individuel n'est mesuré : la condition physique des sujets n'est souvent pas déterminée et la charge de travail n'est pratiquement jamais individualisée. Par exemple, dans plusieurs études, la charge de travail est déterminée selon une fréquence cardiaque cible sans tenir compte des fréquences cardiaques maximale et de repos propres au sujet. Sur le plan de la perception de l'effort, l'intensité d'exercice peut paraître «difficile» pour un participant et «modérée» pour un autre selon la condition physique et le niveau d'expérience en entraînement des participants, d'où l'importance de contrôler ces paramètres de la condition physique et de perception de l'effort.

D'autre part, les études rapportent qu'un exercice sous-maximal d'une durée suffisamment longue a des effets positifs sur les fonctions cognitives. Toutefois, un exercice de très longue durée et d'intensité sous-maximale semble diminuer la

performance cognitive lorsque l'exercice mène à la déshydratation (Cian, Barraud, Melin, & Raphel, 2001; Grego et al., 2004). Ainsi, les résultats indiquent que pour obtenir des bienfaits sur la cognition, la durée et l'intensité de l'activité physique doivent demeurer dans une zone précise, correspondant à un exercice de longue durée (20 à 60 minutes) et à une intensité sous-maximale soit 40 à 75% du $VO_2\text{max}$ (Colcombe & Kramer, 2003; Heckler & Croce, 1992; Tomporowski, 2003).

Enfin, le choix de la tâche cognitive est important puisque cette dernière doit être sensible à l'exercice. Pour chacune des tâches étudiées, l'effet de l'exercice sur la performance cognitive varie considérablement d'une étude à l'autre. Certains auteurs suggèrent que l'effet est plus grand si la tâche sollicite les fonctions cognitives de haut niveau comparativement à un simple temps de réaction (Colcombe & Kramer, 2003; Grego et al., 2004). Quatre études ont eu des effets positifs sur la performance cognitive suite à un exercice de longue durée avec la tâche de Stroop (Ferris, Williams, & Shen, 2007; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Lichtman & Poser, 1983; Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). La durée de la tâche doit aussi être prise en considération, l'objectif étant de mesurer l'effet immédiat de l'exercice. Bref, une tâche dont la durée d'exécution est courte permettrait de mesurer cet effet.

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Une séance d'exercice continu d'intensité modérée influence de façon positive la performance cognitive. Malgré le fait que la littérature révèle que l'exercice cardiovasculaire facilite les fonctions mentales, les études ne permettent pas de définir pendant combien de temps perdurent les effets positifs immédiats de l'activité physique sur les processus cognitifs. Quelques études ont évalué la performance cognitive à différents moments post-exercice (Collardeau, Brisswalter, & Audiffren, 2001; Heckler & Croce, 1992; Hillman, Snook, & Jerome, 2003; Travlos & Marisi, 1995). Le but de la présente étude est donc d'approfondir les connaissances au sujet de l'effet d'une session d'exercice sur le fonctionnement cognitif et de déterminer la durée de cet effet. Un groupe contrôle sera comparé à 2 groupes expérimentaux en contrôlant pour les variables suivantes : condition physique des participants, charge de travail individualisée et perception de l'effort. Chacun des groupes expérimentaux sera testé à un moment différent suite à une session d'exercice soit immédiatement ou 10 minutes post-exercice. Il est attendu que ce projet sera en mesure de préciser la durée des effets de l'activité physique sur le cerveau pour une période d'au plus 10 minutes.

MÉTHODOLOGIE

PARTICIPANTS

Quarante-huit étudiants universitaires ont participé à cette étude (hommes; âge 23 ans \pm 3 ; taille 177 cm \pm 7 ; poids 74 kg \pm 6; IMC 23 kg/m² \pm 2 ; moyenne \pm écart type) et pratiquaient des activités physiques sur une base régulière sans faire partie d'équipes sportives de haut niveau. En raison des différences inter-sexe connues sur la performance cognitive ainsi que des modifications induites par le cycle menstruel chez la femme, seuls des hommes ont été recrutés (Halari & Kumari, 2005; Kozaki & Yasukouchi, 2009; MacLeod, 1991). Un questionnaire détaillé sur l'histoire médicale a été rempli par chacun des étudiants. Aucun participant ne démontrait de troubles neurologiques et académiques, d'antécédents de commotions cérébrales et aucun d'entre eux ne prenait de médication influençant le système nerveux central. Les étudiants ayant des contre-indications à la pratique d'activité physique et toute réponse positive au questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP) n'ont pas été inclus. La participation à cette étude était entièrement volontaire. Les participants ont tous été informés sur la nature de l'étude et ont signé un formulaire de consentement approuvé par le comité d'éthique de la recherche des sciences de la santé (CERSS) de l'université de Montréal.

PROCÉDURES GÉNÉRALES

La participation à l'étude s'est déroulée en trois visites à environ sept jours d'intervalle au laboratoire de physiologie de l'exercice. Tous les participants ont suivi les directives préliminaires pour chacune des visites : ne pas faire d'exercice 24 heures précédant les rencontres et ne pas prendre de nourriture ni de caféine 2 heures avant les évaluations. La première visite a permis à tous les participants de se familiariser avec les installations et de réaliser un test incrémenté. Pour la deuxième et la troisième visite, les participants ont complété un niveau de base à la tâche cognitive ou encore la condition expérimentale. Les participants ont été répartis en trois groupes (n = 16 par groupe): deux groupes expérimentaux (immédiat et 10 min post-exercice) et un groupe contrôle. Lors de la condition expérimentale, les participants du groupe contrôle sont demeurés assis durant 30 minutes et, par la suite, ils ont complété la tâche cognitive. Les groupes immédiat et 10 min post-exercice ont pour leur part fait 30 minutes d'exercice continu sur tapis roulant à des intensités ciblées et ils ont complété la tâche cognitive soit immédiatement ou 10 minutes post-exercice. Tous les participants ont visionné des vidéos de *National Geographic* portant sur la nature. Celles-ci ont été présentées durant soit la période d'attente ou soit la tâche physique.

TEST INCRÉMENTÉ

Ce test a été réalisé sur tapis roulant (Quinton, Bothell, WA). La vitesse initiale était 9 km.h^{-1} (pente nulle), puis augmentait toutes les deux minutes jusqu'à ce que le sujet soit incapable de maintenir la vitesse requise. La procédure d'incrémentation est présentée dans le tableau 5. La fréquence cardiaque a été mesurée à l'aide d'un cardiofréquencemètre (Polar S120, Polar Electro Oy, Kempele, Finlande) à la fin de chaque palier. La perception de la difficulté de l'effort était évaluée au moyen de l'échelle de Borg (Borg, 1998). La vitesse du dernier palier complété était considérée comme la Vitesse Aérobie Maximale (VAM). La consommation maximale d'oxygène a été estimée au moyen de l'équation suivante (ACSM, 2006) :

$$\text{VO}_2\text{max (ml/kg/min)} = 3.5 + 3.33 (\text{vitesse, km.h}^{-1}) + 15 (\text{vitesse, km.h}^{-1} \times \text{pente \%})$$

EXERCICE CONTINU

Les participants du groupe expérimental ont fait un exercice de course à pied sur tapis roulant de 20 minutes à 60% de la VAM. La session de course à pied a été précédée d'un échauffement de 5 minutes à 50% de la VAM et suivie d'un retour au calme de 5 minutes à 30% de la VAM. La fréquence cardiaque a été mesurée à l'aide d'un cardiofréquencemètre (Polar S120, Polar Electro Oy, Kempele, Finlande) et

l'échelle de perception de l'effort de Borg (Borg, 1998) a été utilisée afin d'estimer la perception de la difficulté de l'effort.

TÂCHE COGNITIVE

Les performances cognitives ont été mesurées par la tâche de Stroop (MacLeod, 1991; MacLeod & MacDonald, 2000; Stroop, 1935; Van der Elst, Van Boxtel, Van Breukelen, & Jolles, 2006). Cette tâche permet d'évaluer différents aspects cognitifs, comme l'attention et l'inhibition, en mesurant la capacité d'un individu à garder son attention sur une information pertinente et supprimer une réponse habituelle afin de s'adapter au contexte d'une nouvelle situation. Trois conditions ont été présentées. Pour chaque condition, une pratique de 10 essais était suivie de 100 stimuli. Dans la première condition, une série de noms de couleurs (bleu, jaune, rouge, vert) imprimés en encre noire a été présentée et le participant devait lire les rangées de mots le plus rapidement possible sans faire d'erreur. Dans la deuxième condition, une série de rectangles de couleurs (bleu, jaune, rouge, vert) était présentée et le participant devait dénommer les couleurs le plus rapidement possible sans faire d'erreur. Dans la dernière condition, une série de noms de couleurs imprimés en encre de différentes couleurs (bleu, jaune, rouge, vert) était présentée et le participant devait dénommer la couleur de l'encre sans porter attention au mot écrit. Cette tâche était présentée sur papier et le temps calculé à l'aide d'un chronomètre manuel. Pour chacune des conditions, un temps d'exécution plus rapide reflète une meilleure performance. Tous les participants ont passé le test de

couleur Ishihara (Ishihara, 1979) afin de s'assurer qu'aucun participant n'ait une déficience à identifier les couleurs. La passation de la tâche cognitive a été contrebalancée, c'est-à-dire que le niveau de base a été effectué une semaine avant ou après la condition expérimentale. De plus, deux versions de la tâche de Stroop ont été utilisées. Afin de s'assurer que ces deux versions étaient équivalentes, une étude préalable a été réalisée à l'aide d'un autre groupe recruté (n = 20). Les deux versions de la tâche de Stroop ont aussi été contrebalancées à travers les trois groupes.

ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse des paramètres mesurés a été réalisée au moyen du logiciel Statistica (Statsoft, Tulsa, Etats-Unis, version 6.0). La normalité de la distribution des paramètres étudiés a été vérifiée au moyen du test Shapiro – Wilk et l'homoscédasticité au moyen du test modifié de Levenne. Une analyse de la variance à deux voies (Groupe x Tâche) a été utilisée pour tester l'hypothèse nulle. Les comparaisons multiples ont été réalisées au moyen du test post-hoc de Bonferroni. La taille de l'effet (*Effect Size*) est calculée au moyen de la formule suivante :

$$ES = \frac{\overline{X_{\max}} - \overline{X_{\min}}}{SD_{\text{moyen}}}$$

où ES est l'*Effect Size* et SD moyen est l'écart type moyen obtenu selon la formule suivante :

$$SDm = \sqrt{\frac{((S_1^2 * (n_1 - 1)) + ((S_2^2 * (n_2 - 1))))}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

où S1 et S2 représentent la variance de la moyenne la plus basse et de la moyenne la plus élevée parmi les moyennes comparées. La valeur obtenue est interprétée selon la grille proposée par Cohen (1988) : si ES = 0,2, la différence est petite ; si ES = 0,5, la différence est moyenne ; si ES > 0,8, la différence est importante. Un risque de 0,05 est retenu pour tous les tests.

RÉSULTATS

MOYENNES DES TEMPS D'EXÉCUTION

Une analyse de la variance à deux voies (Groupe x Tâche) a été utilisée sur les moyennes des temps d'exécution à la tâche de Stroop. Les résultats de l'ANOVA pour les trois groupes de participants sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Résultats de l'analyse de la variance sur les moyennes des temps d'exécution (en secondes) à la tâche de Stroop

Conditions	Groupe	<i>n</i>	<i>moyenne</i>	<i>dl</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>Niveau de base</i>						
Lecture de noms de couleur	Contrôle	16	40,5	2	,236	ns
	Immédiat	16	39,2	2	,236	ns
	Post-10 min	16	39,3	2	,236	ns
Dénomination des couleurs	Contrôle	16	56,3	2	,119	ns
	Immédiat	16	54,8	2	,119	ns
	Post-10 min	16	54,9	2	,119	ns
Interférence entre couleur/mot	Contrôle	16	84,1	2	,286	ns
	Immédiat	16	81,2	2	,286	ns
	Post-10 min	16	79,9	2	,286	ns
<i>Expérimentale</i>						
Lecture de noms de couleur	Contrôle	16	41,3	2	1,889	ns
	Immédiat	16	37,2	2	1,889	ns
	Post-10 min	16	38,6	2	1,889	ns
Dénomination des couleurs	Contrôle	16	56,9	2	,690	ns
	Immédiat	16	53,5	2	,690	ns
	Post-10 min	16	53,5	2	,690	ns
Interférence entre couleur/mot	Contrôle	16	86,9	2	1,547	ns
	Immédiat	16	79,0	2	1,547	ns
	Post-10 min	16	78,8	2	1,547	ns

ns = non significatif

L'analyse des données de la présente recherche indique qu'il n'y a aucune différence significative entre les groupes au niveau de base pour les trois conditions de la tâche de Stroop (lecture des noms de couleur, dénomination des couleurs et interférence entre la couleur et le mot).

Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées pour la condition lecture des noms de couleur ne révèlent aucune interaction significative ($p > 0,05$), aucun effet significatif pour le facteur groupe ($p > 0,05$) et aucun effet significatif pour la tâche ($p > 0,05$).

Les résultats de l'ANOVA pour la condition dénomination de couleur ne révèlent aucune interaction significative ($p > 0,05$) aucun effet significatif pour le facteur groupe ($p > 0,05$) et aucun effet significatif pour la tâche ($p > 0,05$).

Les résultats de l'ANOVA pour la condition interférence entre la couleur et le mot ne révèlent aucune interaction significative ($p > 0,05$), aucun effet significatif pour le facteur groupe ($p > 0,05$) et aucun effet significatif pour la tâche ($p > 0,05$).

TAILLE DE L'EFFET

Les moyennes du groupe contrôle ont été comparées à celles des groupes immédiat et 10 min post-exercice selon la taille de l'effet. La figure 1 présente les résultats pour les trois conditions de la tâche de Stroop. Les groupes contrôle, immédiat et 10 minutes post se trouvent sur l'axe des abscisses et le temps d'exécution de la tâche (en secondes) et la taille de l'effet sur l'axe des ordonnées.

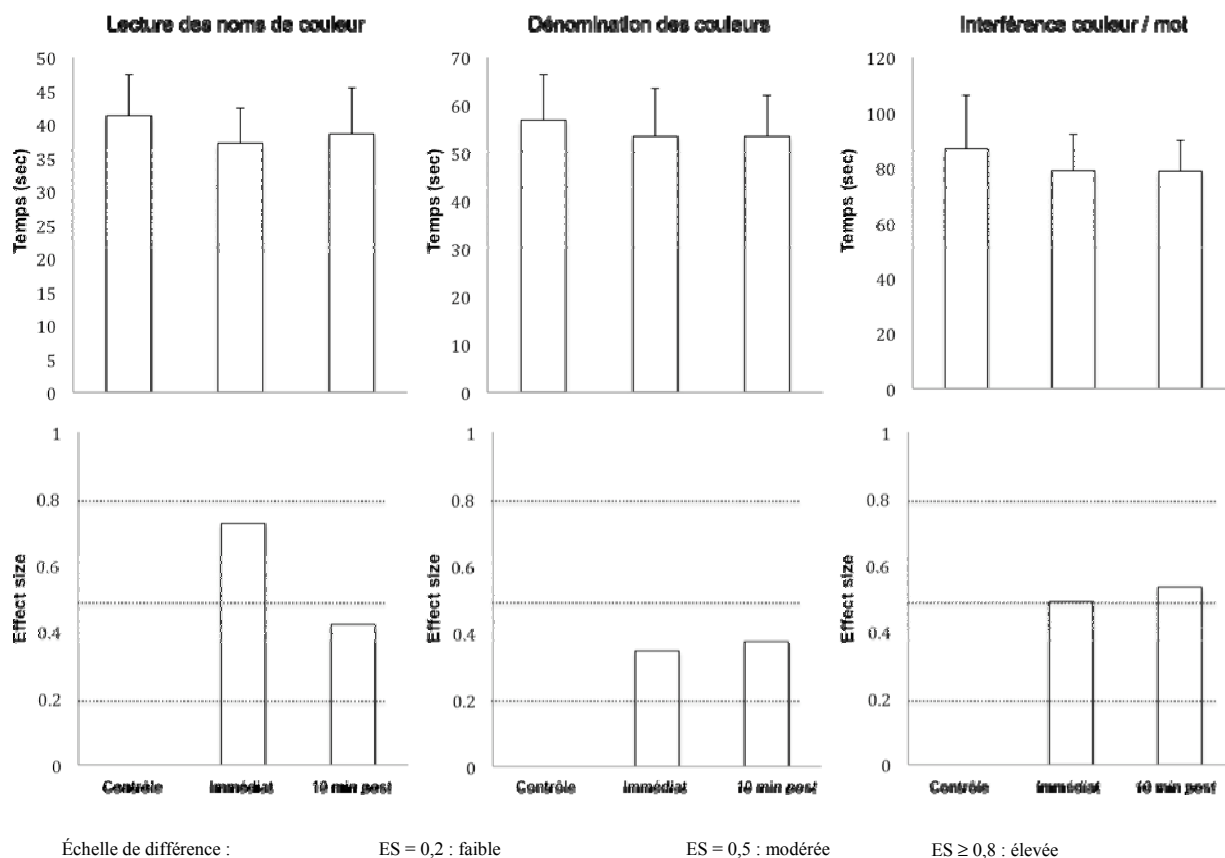


Figure 1 : Moyennes des temps d'exécution à la tâche de Stroop (sec ; écart type) et taille de l'effet entre les groupes (contrôle vs immédiat ; contrôle vs 10 min post).

Pour la condition lecture des noms de couleur, aucune différence significative n'a été observée entre le groupe contrôle et les groupes immédiat et 10 min post-exercice, même si la taille de l'effet pour le groupe immédiat est modérée (0,73).

Pour la condition dénomination des couleurs, les résultats ne révèlent aucune différence significative entre le groupe contrôle et les groupes immédiat et 10 min post-exercice.

Les résultats ne reflètent aucune différence significative entre le groupe contrôle et les groupes immédiat et 10 min post-exercice pour la condition interférence entre la couleur et le mot, même si la taille de l'effet pour les groupes immédiat et 10 minutes post-exercice est modérée (0,49 et 0,53 respectivement).

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer comment une seule session d'exercice d'une durée de 30 minutes à une intensité sous-maximale influence les fonctions exécutives et de déterminer la durée de cet effet. La performance à la tâche de Stroop a été évaluée immédiatement et 10 minutes post-exercice. L'analyse statistique indique qu'il n'y a pas d'amélioration à la tâche de Stroop suite à une session d'exercice. La présente section soutient une discussion sur les résultats obtenus en lien avec l'objectif fixé en associant tout d'abord nos résultats à ceux d'autres études. Par la suite, les forces et les limites méthodologiques seront exposées.

Nos résultats ne permettent pas de déterminer un effet de l'exercice sur la cognition. Effectivement, les résultats obtenus sont contradictoires à ceux rapportés dans la littérature. Quatre études ont mesuré la performance à la tâche de Stroop suite à une seule séance d'exercice et ont obtenu des résultats significatifs (Ferris, Williams, & Shen, 2007; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Lichtman & Poser, 1983; Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). Dans l'ensemble, les protocoles comprenaient des exercices d'une durée variant entre 20 et 60 minutes à une intensité modérée. L'intensité d'exercice était contrôlée (75% du VO_2 max) ou déterminée en fonction de la perception d'effort du sujet. Tous les auteurs ont conclu que l'exercice améliorait la performance à la tâche de Stroop en comparaison à la condition contrôle. Cependant, il importe de noter que la taille de leur effet est petite à modérée. Cohen (1988) indique que les valeurs de la taille de l'effet égales à 0,2 représentent une faible différence entre deux

groupes, celles autour de 0,5 une différence modérée et que les valeurs égales ou supérieures à 0,8 démontrent une différence élevée. La taille de l'effet permet de relativiser nos résultats avec ceux des études publiées, en plus d'estimer l'ampleur de l'amélioration de la performance cognitive. Par exemple, la taille de l'effet trouvée dans l'étude de Sibley, Etnier, & Le Masurier (2006) et celle observée dans l'étude de Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles (1996) sont respectivement 0,21 et 0,30. La différence de l'effet calculée des résultats de Ferris, Williams, & Shen, (2007) entre le niveau de base et la valeur post-exercice est de 0,43. En lien avec la présente étude, une différence modérée a été observée immédiatement et 10 minutes post-exercice (0,49 et 0,53 respectivement). Il est intéressant de noter que l'amplitude de l'effet de nos résultats, quoique ces derniers soient statistiquement non significatifs, est en accord avec les valeurs observées dans la littérature. D'un autre côté, pour ce qui est de la durée des effets positifs immédiats de l'exercice sur la cognition, seuls Heckler & Croce (1992) semblent avoir obtenu des résultats significatifs à l'aide d'une tâche différente. Ces derniers ont observé une augmentation significative dans la vitesse d'addition et de soustraction immédiatement après l'exercice ainsi que 5 et 15 minutes plus tard. La performance à la tâche cognitive a été mesurée suite à un exercice sur tapis roulant de 20 et 40 minutes à 55% du VO_2 max. Toutefois, il demeure difficile de défendre une conclusion sur la base de la comparaison de nos résultats.

D'autre part, la taille de l'effet permet de mettre en contexte l'implication scientifique des résultats. En effet, l'interprétation des résultats de ces auteurs soulève une question : quelle est l'importance clinique de la grandeur des effets de l'exercice sur la performance à la tâche de Stroop? Il semble que l'apport des résultats publiés, dans un

contexte pratique, est limité s'ils sont rapportés sous la notion de la taille de l'effet. D'ailleurs, Etnier et al. (1997) ont rapporté dans une méta-analyse une taille de l'effet de 0,16 pour les résultats concernant l'influence d'une séance d'exercice sur la cognition. Même si on prend en considération qu'une seule composante de la cognition chez l'être humain est étudiée et que le domaine est complexe, l'interprétation des résultats basée uniquement sur les tests statistiques (*p-value*) ne permet pas de définir concrètement l'impact de l'exercice sur les processus cognitifs sollicités à la tâche de Stroop.

FORCES ET LIMITES MÉTHODOLOGIQUES

L'objectif de cette étude était de documenter l'effet de l'exercice physique sur la cognition chez un échantillon de 48 universitaires, mais certaines caractéristiques méthodologiques doivent être prises en considération. Une des principales limites de cette étude est la procédure d'administration de la tâche de Stroop. Il existe un effet d'apprentissage évident à la tâche de Stroop et le fait d'avoir certains sujets ayant effectué le niveau de base une semaine avant ou après la condition expérimentale diminue l'amplitude de la différence avec la condition expérimentale. Bien que nous ayons contrebalancé la passation du test cognitif afin de diminuer cet effet de pratique, cela vient atténuer l'amplitude de l'effet. Sibley, Etnier, & Le Masurier (2006) ont utilisé un paradigme similaire au niveau de la passation de la tâche cognitive mais la taille de leur échantillon était plus importante ($n=79$). Cependant, ces auteurs ont obtenu une taille de l'effet très petite malgré une amélioration significative de la performance

cognitive. Dans la présente étude, la seule comparaison des groupes expérimentaux avec le groupe contrôle aurait été une mesure suffisante pour contrer cet effet d'apprentissage.

Point de repère pour mesurer les processus attentionnels et la capacité d'inhibition depuis plusieurs décennies en psychologie, la tâche de Stroop est un choix intéressant et justifié afin de mesurer les effets de l'exercice sur les fonctions exécutives dans le domaine de l'activité physique. Les résultats publiés en relation avec les bienfaits de l'activité physique et la condition d'interférence de la tâche de Stroop suggèrent que l'exercice influence en particulier les fonctions exécutives (Ferris, Williams, & Shen, 2007; Hogervorst, Riedel, Jeukendrup, & Jolles, 1996; Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). Il reste qu'une grande variabilité interindividuelle est rencontrée avec la tâche de Stroop (MacLeod, 1991; MacLeod & MacDonald, 2000). Cette variance inter-sujets constitue une problématique puisqu'elle diminue la puissance statistique. Un autre point important à soulever est que la tâche de Stroop est un test complexe à manipuler. Une pratique préalable et considérable est nécessaire afin de diminuer l'effet d'apprentissage observé entre le niveau de base et la condition expérimentale. Dans notre étude, une pratique de 10 stimuli seulement était administrée aux participants préalablement à l'évaluation de la performance cognitive lors du niveau de base et de la condition expérimentale.

Trois groupes distincts ont également été formés afin de mesurer les effets de l'exercice. Toutefois, la taille de chacun de ces groupes constitue une limite et contribue au manque de significativité statistique. Le petit échantillon ($n=16$ par groupe) pourrait avoir limité la puissance statistique comparativement aux études ayant de plus grands

échantillons (Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006). De plus, bien que certains aspects de l'échantillon aient été contrôlés (condition physique, âge, niveau et domaine d'étude universitaire), d'autres limites de représentativité de l'échantillon peuvent être relevées. Par exemple, seulement des hommes en santé ont été inclus dans l'étude. Les recherches futures devraient inclure des échantillons mixtes afin de généraliser les résultats à des échantillons plus représentatifs de la population.

Les sciences qui traitent du lien entre l'activité physique et la psychologie constituent un champ de recherche novateur. Cependant, une multitude de facteurs rendent complexe la planification d'un protocole de recherche. Tout d'abord, plusieurs différences interindividuelles tant au niveau cognitif que physique rendent difficiles l'homogénéité de l'échantillon telles le niveau de condition physique, l'expérience en entraînement, la notion de perception de l'effort, la motivation, le stress externe, l'alimentation et le sommeil. De plus, malgré le choix d'une durée et d'une intensité d'exercice correspondant à celles retrouvées dans la littérature (Colcombe & Kramer, 2003; Heckler & Croce, 1992; Tomporowski, 2003), ces paramètres sont très variables d'une étude à l'autre, ne permettant pas d'étudier la reproductibilité de certains effets de l'exercice sur la cognition. Cette intensité d'exercice est importante à préciser, d'autant plus que certaines études suggèrent qu'à une intensité égale ou supérieure au seuil ventilatoire, une diminution du débit sanguin cérébral serait observée, ce qui pourrait influencer la performance cognitive (Bhambhani, Malik, & Mookerjee, 2007). Il est donc très complexe de cibler le type d'exercice, sa durée et son intensité mais aussi la façon de mesurer cette intensité afin d'observer les bienfaits de l'exercice sur la cognition.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de l'exercice sur les fonctions exécutives et la durée de cet effet à l'aide d'une tâche de Stroop. La performance à la tâche a été mesurée immédiatement et 10 minutes suite à 30 minutes d'exercice sur tapis roulant. Les résultats révèlent qu'il n'y a pas d'effet significatif. L'étude a permis de documenter l'effet de l'exercice sur une population d'étudiants universitaires francophones et fournit des données additionnelles dans le domaine de l'exercice. D'autres études sont nécessaires afin de mieux comprendre la nature du lien entre l'exercice et la cognition. Il serait aussi important de continuer à se questionner sur le type de tâche cognitive utilisée et de voir l'effet de l'exercice sur différentes tâches cognitives afin de généraliser à d'autres processus cognitifs. Nous espérons que des recherches futures poursuivront cet objectif afin d'identifier des moyens d'intervenir à court terme auprès des populations à risque de présenter des difficultés sur le plan cognitif dont les enfants, les adolescents et les personnes âgées.

RÉFÉRENCES

- Abbott, R. D., Rodriguez, B. L., Burchfiel, C. M., & Curb, J. D. (1994). Physical activity in older middle-aged men and reduced risk of stroke: the Honolulu Heart Program. *Am J Epidemiol*, *139*(9), 881-893.
- ACSM. (2006). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. (7th^e éd.). Philadelphia: London : Lippincott Williams & Wilkins.
- Arroll, B., & Beaglehole, R. (1992a). Cardiovascular benefits of physical activity. *Med Sci Sports Exerc*, *24*(10), 1180-1181.
- Arroll, B., & Beaglehole, R. (1992b). Does physical activity lower blood pressure: a critical review of the clinical trials. *J Clin Epidemiol*, *45*(5), 439-447.
- Bard, C., & Fleury, M. (1978). Influence of imposed metabolic fatigue on visual capacity components. *Percept Mot Skills*, *47*(3 Pt 2), 1283-1287.
- Bender, V. L., & McGlynn, G. H. (1976). The effect of various levels of strenuous to exhaustive exercise on reaction time. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, *35*(2), 95-101.
- 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.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Borg, G. A. (1974). Perceived exertion. *Exerc Sport Sci Rev*, *2*, 131-153.
- 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., & Rene, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, *32*(9), 555-566.
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *10*, 12-21.

- Burchfiel, C. M., Sharp, D. S., Curb, J. D., Rodriguez, B. L., Hwang, L. J., Marcus, E. B., et al. (1995). Physical activity and incidence of diabetes: the Honolulu Heart Program. *Am J Epidemiol*, *141*(4), 360-368.
- Cian, C., Barraud, P. A., Melin, B., & Raphel, C. (2001). Effects of fluid ingestion on cognitive function after heat stress or exercise-induced dehydration. *Int J Psychophysiol*, *42*(3), 243-251.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for behavioral sciences*. (2nd ed.^e éd.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Colcombe, S., Kraemer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. E. (2004). Neurocognitive ageing and cardiovascular fitness. *Journal of Molecular Neuroscience*, *24*(9-14).
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, *14*(2), 125-130.
- Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *J Sports Sci*, *26*(3), 333-344.
- Collardeau, M., Brisswalter, J., & Audiffren, M. (2001). Effects of a prolonged run on simple reaction time of well trained runners. *Percept Mot Skills*, *93*(3), 679-689.
- Cote, J., Salmela, J., & Papathanasopoulou, K. P. (1992). Effects of progressive exercise on attentional focus. *Perceptual & Motor Skills*, *75*(2), 351-354.
- Davey, C. P. (1973). Physical exertion and mental performance. *Ergonomics*, *16*(5), 595-599.
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., & Pelayo, P. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol*, *89*(3-4), 281-288.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., & Smith, B. K. (2009). American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(2), 459-471.
- Elbel, E. R. (1940). A study of response time before and after strenuous exercise. *Res Q*, *11*, 86-95.

- 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.
- Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C. L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 39*(4), 728-734.
- Fleury, M., & Bard, C. (1987). Effects of different types of physical activity on the performance of perceptual tasks in peripheral and central vision and coincident timing. *Ergonomics, 30*(6), 945-958.
- Fleury, M., Bard, C., Jobin, J., & Carriere, L. (1981). Influence of different types of physical fatigue on a visual detection task. *Percept Mot Skills, 53*(3), 723-730.
- Gondola, J. C. (1987). The effects of a single bout of aerobic dancing on selected tests of creativity. *Journal of Social Behavior and Personality, 2*, 275-278.
- Green, J. M., Crews, T. R., Bosak, A. M., & Peveler, W. W. (2003). A comparison of respiratory compensation thresholds of anaerobic competitors, aerobic competitors and untrained subjects. *Eur J Appl Physiol, 90*(5-6), 608-613.
- Grego, F., Vallier, J. M., Collardeau, M., Bermon, S., Ferrari, P., Candito, M., et al. (2004). Effects of long duration exercise on cognitive function, blood glucose, and counterregulatory hormones in male cyclists. *Neuroscience Letters, 364*(2), 76-80.
- Gutin, B. (1966). Effect of increase in physical fitness on mental ability following physical and mental stress. *Res Q, 37*(2), 211-220.
- Gutin, B. (1973). Exercise-induced activation and human performance: a review. *Res Q, 44*(3), 256-268.
- Gutin, B., & DiGennaro, J. (1968a). Effect of a treadmill run to exhaustion on performance of long addition. *Res Q, 39*(4), 958-964.
- Gutin, B., & DiGennaro, J. (1968b). Effect of one-minute and five-minute step-ups on performance of simple addition. *Res Q, 39*(1), 81-85.

- Halari, R., & Kumari, V. (2005). Comparable cortical activation with inferior performance in women during a novel cognitive inhibition task. *Behav Brain Res, 158*(1), 167-173.
- Heckler, B., & Croce, R. (1992). Effects of time of posttest after two durations of exercise on speed and accuracy of addition and subtraction by fit and less-fit women. *Percept Mot Skills, 75*(3 Pt 2), 1059-1065.
- Hillman, C. H., Snook, E. M., & Jerome, G. J. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *Int J Psychophysiol, 48*(3), 307-314.
- Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A., & Jolles, J. (1996). Cognitive performance after strenuous physical exercise. *Perceptual & Motor Skills, 83*(2), 479-488.
- Ishihara, S. (1979). *The series of plates designed as a test for colour-blindness*. (38 plates^e éd.). Tokyo: Kanehara Shuppan.
- Kashihara, K., & Nakahara, Y. (2005). Short-term effect of physical exercise at lactate threshold on choice reaction time. *Percept Mot Skills, 100*(2), 275-291.
- Katzmarzyk, P. T., Leon, A. S., Wilmore, J. H., Skinner, J. S., Rao, D. C., Rankinen, T., et al. (2003). Targeting the metabolic syndrome with exercise: evidence from the HERITAGE Family Study. *Med Sci Sports Exerc, 35*(10), 1703-1709.
- Kohrt, W. M., Bloomfield, S. A., Little, K. D., Nelson, M. E., & Yingling, V. R. (2004). American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc, 36*(11), 1985-1996.
- Kozaki, T., & Yasukouchi, A. (2009). Sex differences on components of mental rotation at different menstrual phases. *Int J Neurosci, 119*(1), 59-67.
- Kubesch, S., Bretschneider, V., Freudenmann, R., Weidenhammer, N., Lehmann, M., Spitzer, M., et al. (2003). Aerobic endurance exercise improves executive functions in depressed patients. *J Clin Psychiatry, 64*(9), 1005-1012.
- Leon-Carrion, J., Damas-Lopez, J., Martin-Rodriguez, J. F., Dominguez-Roldan, J. M., Murillo-Cabezas, F., Barroso, Y. M. J. M., et al. (2008). The hemodynamics of cognitive control: the level of concentration of oxygenated hemoglobin in the superior prefrontal cortex varies as a function of performance in a modified Stroop task. *Behav Brain Res, 193*(2), 248-256.

- Lichtman, S., & Poser, E. G. (1983). The effects of exercise on mood and cognitive functioning. *J Psychosom Res*, 27(1), 43-52.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychol Bull*, 109(2), 163-203.
- MacLeod, C. M., & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends Cogn Sci*, 4(10), 383-391.
- Marriott, J., Reilly, T., & Miles, A. (1993). The effect of physiological stress on cognitive performance in a simulation of soccer. Dans T. Reilly, J. Clarys & A. Stibbe (Éds.), *Science and football II* (1^e éd.) (pp. 261-264). New York: London; E & FN Spon.
- McAdam, R. E., & Wang, Y. K. (1967). Performance of a simple mental task following various treatments. *Res Q*, 38(2), 208-212.
- 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.
- Meyers, C. R., Zimmerli, W., Farr, S. D., & Baschnagel, N. A. (1969). Effect of strenuous physical activity upon reaction time. *Res Q*, 40(2), 332-337.
- Ogoh, S., Hayashi, N., Inagaki, M., Ainslie, P. N., & Miyamoto, T. (2008). Interaction between the ventilatory and cerebrovascular responses to hypo- and hypercapnia at rest and during exercise. *J Physiol*, 586(Pt 17), 4327-4338.
- Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *J Exp Psychol*, 58, 193-198.
- Powell, R. R. (1975). Effects of exercise on mental functioning. *J Sports Med Phys Fitness*, 15(2), 125-131.
- Powell, R. R. (1976). Effects of steady state and exhaustive exercise stress on cognition. *Journal of Human Movement Studies*, 2, 79-86.
- Scully, D., Kremer, J., Meade, M. M., Graham, R., & Dudgeon, K. (1998). Physical exercise and psychological well being: a critical review. *Br J Sports Med*, 32(2), 111-120.

- Shedd, K. M., Hanson, K. B., Alekel, D. L., Schiferl, D. J., Hanson, L. N., & Van Loan, M. D. (2007). Quantifying leisure physical activity and its relation to bone density and strength. *Med Sci Sports Exerc*, 39(12), 2189-2198.
- Sibley, B. A., & Beilock, S. L. (2007). Exercise and working memory: an individual differences investigation. *J Sport Exerc Psychol*, 29(6), 783-791.
- Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, 243-256.
- Sibley, B. A., Etnier, J. L., & Le Masurier, G. C. (2006). Effects of an acute bout of exercise on cognitive aspects of stroop performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 28, 285-299.
- Sjoberg, H. (1980). Physical fitness and mental performance during and after work. *Ergonomics*, 23(10), 977-985.
- Sparrow, W. A., & Wright, B. J. (1993). Effect of physical exercise on the performance of cognitive tasks. *Percept Mot Skills*, 77(2), 675-679.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112(3), 297-324.
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational psychology review*, 20, 111-131.
- Tomporowski, P. D., & Ellis, N. R. (1986). Effects of exercise on cognitive process: a review. *Psychology Bulletin*, 99, 338-346.
- Tomporowski, P. D., Ellis, N. R., & Stephens, R. (1987). The immediate effects of strenuous exercise on free-recall memory. *Ergonomics*, 30(1), 121-129.
- Travlos, A. K., & Marisi, D. Q. (1995). Information processing and concentration as a function of fitness level and exercise-induced activation to exhaustion. *Percept Mot Skills*, 80(1), 15-26.
- Van der Elst, W., Van Boxtel, M. P., Van Breukelen, G. J., & Jolles, J. (2006). The Stroop color-word test: influence of age, sex, and education; and normative data for a large sample across the adult age range. *Assessment*, 13(1), 62-79.

- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., et al. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiol Learn Mem*, 87(4), 597-609.
- Wrisberg, C. A., & Herbert, W. G. (1976). Fatigue effects on the timing performance of well-practiced subjects. *Res Q*, 47(4), 839-844.

Tableau 2 : Résumé des résultats des études évaluant le lien entre l'exercice et les fonctions perceptivo-motrices

Auteurs	n	Type d'exercice	Durée de l'exercice	Tâche cognitive	Résultats
Exercice de courte durée					
Bard & Fleury (1978)	16	Vélo stationnaire (progressif jusqu'à fatigue avec 185 bpm)	16 à 19 min	Vitesse de mouvement	Aucun effet
Bender & McGlynn (1976)	10	Marche et course à pied sur tapis roulant (progressif jusqu'à fatigue)	12 min	TRS	Aucun effet
Brisswalter, Arcelin, Audi- ffren & Delignieres (1997)	20	Vélo stationnaire (intensités à 20, 40, 60 et 80% de la puissance maximale)	10 min	TRS présentée 1 min post-exercice	Aucun effet
Coté, Salmela & Papatha- nasopoulou (1992)	17	Vélo stationnaire (progressif jusqu'à 180 bpm)	8 min	TRC présentée 10 min post exercice	Aucun effet
Elbel (1940)	129	Exercices variés : marches ergonomiques avec extensions des bras, basketball et boxe	9 à 90 min	TRS	Aucun effet
McGlynn, Laughlin & Bender (1977)	14	Marche et course à pied sur tapis roulant (progressif jusqu'à fatigue)	12 min	TRS	Aucun effet
Meyers, Zimmerli, Farr & Baschnagel (1969)	116	Marches ergonomiques	5 min	TRS	Aucun effet

Tableau 2 (suite)

Auteurs	n	Type d'exercice	Durée de l'exercice	Tâche cognitive	Résultats
Exercice de longue durée					
Collardeau, Brisswalter & Audiffren (2001)	11	Course à pied tapis roulant et terrain (vitesse ciblée au seuil ventilatoire)	90 min	TRS présentée immédiatement 2 min 30 sec et 5 min post-exercice	Amélioration immédiatement post-exercice
Hillman, Snook & Jerome (2003)	20	Course à pied sur tapis roulant (intensité à 83% de la FCmax)	30 min	TRC 48 min post-exercice	Aucun effet
Hogervorst, Riedel, Jeukendrup & Jolles (1996)	15	Vélo stationnaire (intensité entre 75-85% VO ₂ max)	60 min	TRS TRC	Amélioration Aucun effet
Kashihara & Nakahara (2005)	6	Vélo stationnaire (seuil de lactate)	10 min	TRC	Aucun effet
Marriott, Reilly & Miles (1993)	16	Course à pied sur tapis roulant (intensité modérée 157 bpm)	45 et 90 min	TRC	Amélioration suite à 45 min d'exercice
Powell (1976)	33	Course à pied tapis roulant (intensités modérée et élevée jusqu'à épuisement)	30 min et plus	TRS	Amélioration pour intensité élevée
Travlos & Marisi (1995)	20	Vélo stationnaire (progressif jusqu'à effort maximal)	50 min	TRC présentée immédiatement et 15 min post-exercice	Aucun effet

Tableau 3 : Résumé des résultats des études évaluant le lien entre l'exercice et la mémoire

Auteurs	n	Type d'exercice	Durée de l'exercice	Tâche cognitive	Résultats
Exercice de courte durée					
Davey (1973)		Vélo stationnaire	15 sec à 10 min	Identification d'un stimulus	Amélioration
Exercice de longue durée					
Coles & Tomporowski (2008)	18	Vélo stationnaire (intensités : 30 min à 60% du VO ₂ max et 10 min à 30% du VO ₂ max)	40 min	Alternance MCT MLT	Aucun effet Aucun effet Amélioration
Powell (1976)	33	Course à pied sur tapis roulant (intensités modérée et élevée jusqu'à épuisement)	30 min et plus	MCT	Aucun effet
Sibley & Beilock (2007)	48	Course à pied sur tapis roulant (intensité entre 66 et 72% FCmax)	30 min	MCT	Amélioration
Tomporowski, Ellis & Stephens (1987) Expériences 1 & 2	24 & 12	Course tapis roulant (progressif jusqu'à 80% VO ₂ max)	50 min	MCT	Aucun effet

Tableau 4 : Résumé des résultats des études évaluant le lien entre l'exercice et les fonctions exécutives

Auteurs	n	Type d'exercice	Durée de l'exercice	Tâche cognitive	Résultats
<i>Exercice de courte durée</i>					
Gutin & Digennaro 1968a	72	Course à pied sur tapis roulant (environ 11,3km/h avec une pente de 8,6 degrés)	Anaérobie (fatigue)	Problèmes mathématiques	Aucun effet
Gutin (1966)	26	Marches ergonomiques	1 et 5 min	Problèmes mathématiques	Aucun effet
Gutin & Digennaro (1968b)	55	Marches ergonomiques	1 et 5 min	Problèmes mathématiques	Aucun effet
Sjoberg (1980)	48	Vélo stationnaire (Intensités à 0, 25, 50 et 75% de la puissance maximale)	11 min	Problèmes mathématiques	Aucun effet
Sparrow & Wright (1993)	50	Marches ergonomiques (intensités modérées à élevées)	6 min	Problèmes mathématiques	Aucun effet
Winter et al. (2007)	27	Course à pied sur tapis roulant (intervalles à 184 bpm)	6 min	Apprentissage de vocabulaire	Amélioration
<i>Exercice de longue durée</i>					
Coles & Tomporowski (2008)	18	Vélo stationnaire (intensités : 30 min à 60% du VO ₂ max et 10 min à 30% du VO ₂ max)	40 min	Alternance	Aucun effet
Ferris, Williams & Shen (2007)	15	Vélo stationnaire (intensités à 56 et 75% du VO ₂ max)	30 min	Stroop	Amélioration

Tableau 4 (suite)

Auteurs	n	Type d'exercice	Durée de l'exercice	Tâche cognitive	Résultats
Heckler & Croce (1992)	18	Course à pied sur tapis roulant 55% VO ₂ max	20 et 40 min	Problèmes mathématiques imm., 5 et 15 min post-exercice	Amélioration
Hogervorst, Riedel, Jeukendrup & Jolles (1996)	15	Vélo stationnaire (intensité entre 75-85% VO ₂ max)	60 min	Stroop	Amélioration
Lichtman & Poser (1983)	10	Exercices aérobies variés	45 min	Stroop	Amélioration
Sibley, Etnier & Le Masurier (2006)	79	Course à pied sur tapis roulant (intensité modérée selon la perception de l'effort)	20 min	Stroop	Amélioration
Winter et al. (2007)	27	Course à pied en gymnase (intensité entre 110 et 160 bpm)	40 min	Apprentissage de vocabulaire	Aucun effet

Tableau 5 : Protocole du test incrémenté

Palier	Vitesse (km/h)	Temps (minutes)	VO2 estimé * (ml/kg/min)
1	9	2	33,47
2	10	4	36,80
3	11	6	40,13
4	12	8	43,46
5	13	10	46,79
6	14	12	50,12
7	15	14	53,45
8	16	16	56,78
9	17	18	60,11

* Estimation de la VO2max selon la formule de l'ACSM, 2006 :

$$VO_2 \text{ max (ml/kg/min)} = 3.5 + 3.33 (\text{vitesse, km.h}^{-1}) + 15(\text{vitesse, km.h}^{-1}) \times \text{pente \%}$$