

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR  
THALIA LAPOINTE

TRAVAIL MENTAL ET RÉACTIVITÉ CARDIOVASCULAIRE CHEZ L'ENFANT :  
QUEL EST LE RÔLE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE?

AOÛT 2015

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**Ce mémoire a été dirigé par :**

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Émilie Lachance, Ph. D.       | UQTR                        |
| Directeur de recherche, grade | Rattachement institutionnel |

---

**Jury d'évaluation du mémoire :**

|                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| Émilie Lachance, Ph. D.      | UQTR                        |
| Prénom et nom, grade         | Rattachement institutionnel |
| Lyne Cloutier, Ph. D.        | UQTR                        |
| Prénom et nom, grade         | Rattachement institutionnel |
| Stephanie-May Ruchat, Ph. D. | UQTR                        |
| Prénom et nom, grade         | Rattachement institutionnel |

---



## RÉSUMÉ

Les maladies cardiovasculaires étant toujours en tête de liste des principales causes de mortalité mondialement, il est primordial de tenter de comprendre les facteurs qui contribuent à leur développement et d'élaborer des stratégies de prévention. La littérature récente tend à démontrer que le travail mental pourrait avoir un rôle à jouer dans leur développement. En effet, le simple fait de travailler cognitivement semble être un stimulus capable de perturber les fonctions cardiovasculaires. D'ailleurs, les jeunes qui réagissent plus fortement à un stress mental seraient plus à risque de devenir des adultes hypertendus. À l'inverse, l'activité physique est reconnue pour jouer un important rôle cardioprotecteur. Comme le travail mental a rapidement pris la place de l'effort physique et que les performances académiques sont extrêmement valorisées dans la société actuelle, il est nécessaire de s'intéresser à leurs répercussions physiologiques chez l'enfant. À cet effet, ce mémoire de maîtrise présente les impacts du travail mental sur la réactivité cardiovasculaire de l'enfant. Pour ce faire, la fréquence cardiaque, la pression artérielle et la variabilité de la fréquence cardiaque ont été mesurées lors d'une période scolaire de 60 minutes. Les résultats de l'étude ont démontré une augmentation de la pression artérielle systolique et diastolique à la fin de l'effort cognitif comparativement à une période de repos. Par contre, un cours d'éducation physique de 60 minutes réalisé avant le travail mental a permis de contrer ces effets sur la réactivité cardiovasculaire des participants. Ces résultats suggèrent que l'effet hypotenseur de l'activité physique permettrait à l'organisme de mieux gérer les effets du travail mental et de diminuer les répercussions potentiellement négatives sur le

système cardiovasculaire. Ces travaux ont aussi permis d'évaluer les différences entre les enfants normo pondéraux et ceux en surpoids ou en obésité. Les participants présentant une surcharge pondérale ont affiché des valeurs de pression artérielle plus élevées à la suite de la période scolaire de travail mental suggérant une tendance à réagir plus fortement à ce stimulus. Ceux-ci seraient donc potentiellement plus à risque de maladies cardiovasculaires à long terme et la pratique régulière d'activité physique serait d'autant plus importante pour cette population. Les résultats de ces travaux de maîtrise nous permettent de mieux comprendre les effets sur la santé cardiovasculaire du mode de vie à dominance cognitive et peu actif physiquement dans lequel nous baignons de plus en plus depuis les dernières décennies. Ils nous aident également à trouver des solutions de prévention telle que l'activité physique qui serait en mesure de contrer les effets néfastes du travail mental chez les jeunes. Ces données renforcent donc l'importance de la pratique régulière d'éducation physique dans les écoles.

## REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont inévitablement à ma directrice de maîtrise Émilie. Avant de rencontrer la personne passionnée et humaine que tu es, je n'aurais jamais pensé faire des études de cycle supérieur. Tu m'as ouvert au monde, si enrichissant, qu'est celui de la recherche. Considérant que je me lance aujourd'hui dans des études doctorales, ce n'est pas peu dire! Au-delà de ton rôle de directrice, tu as su me sortir de ma zone de confort à plusieurs reprises et m'as permis de m'améliorer autant sur le plan professionnel que personnel. D'ailleurs, je ne te remercierai jamais assez pour l'immense confiance que tu m'as accordée et la chance que j'ai eue de pouvoir enseigner grâce à toi. Je tiens aussi à remercier Monsieur Louis Laurencelle qui m'a été d'une aide précieuse lors de l'analyse statistique ainsi que Monsieur Patrice Brassard et Monsieur Ben Rattray pour leur importante collaboration à l'article scientifique. De plus, je remercie les écoles primaires, les professeurs et les élèves qui ont accepté de participer à ce projet.

Je ne peux passer sous silence le soutien incontestable de ma famille. Avec le recul, je me rends compte de plus en plus à quel point je suis choyée d'avoir des parents si présents et impliqués dans ma vie. Un merci particulier à ma mère, la personne la plus dévouée et généreuse que je connaisse; un modèle depuis toujours. Finalement, un important remerciement à la personne qui partage ma vie chaque jour. Sam, tu as su m'appuyer et me supporter dans les bons moments comme dans les plus difficiles. Avec tous ces changements prochains, je suis certaine qu'un merveilleux avenir nous attend.



## TABLE DES MATIÈRES

|  |      |
|--|------|
| RÉSUMÉ .....   | iv   |
| REMERCIEMENTS .....  | vi   |
| TABLE DES MATIÈRES .....   | viii |
| LISTE DE TABLEAUX .....  | x    |
| LISTE DES FIGURES .....  | xi   |
| INTRODUCTION .....   | 1    |
| CHAPITRE 1 – L’ACTIVITÉ PHYSIQUE .....                                     | 5    |
| 1.1 Activité physique et santé .....                                       | 5    |
| 1.2 Activité physique et performance scolaire .....                        | 10   |
| CHAPITRE 2 – ORGANISATION DU SYSTÈME NERVEUX .....                         | 13   |
| CHAPITRE 3 – PRESSION ARTÉRIELLE .....                                     | 16   |
| 3.1 Pression artérielle chez l’enfant .....                                | 16   |
| 3.2 Relation entre la pression artérielle et l’obésité chez l’enfant ..... | 18   |
| 3.2 Effet de l’activité physique sur la pression artérielle .....          | 22   |
| CHAPITRE 4 – VARIABILITÉ DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE .....                   | 25   |
| 4.1 Mesure de la VFC .....   | 26   |
| 4.2 VFC et santé .....   | 27   |
| 4.3 Effet de l’entraînement physique sur la VFC .....                      | 29   |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4 VFC chez l'enfant .....  | 30         |
| <b>CHAPITRE 5 – STRESS MENTAL.....</b>   | <b>33</b>  |
| 5.1 Stress mental et réactivité cardiovasculaire.....  | 33         |
| 5.2 Réactivité cardiovasculaire et santé.....  | 36         |
| 5.3 Stress mental et activité physique .....   | 38         |
| <b>CHAPITRE 6- CONTEXTE DE L’ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE.....</b>  | <b>41</b>  |
| 6.1 Hypothèses .....   | 41         |
| 6.2 Méthodologie.....  | 42         |
| 6.3 Analyses statistiques.....   | 45         |
| <b>CHAPITRE 7 – PHYSICAL ACTIVITY COUNTERACTS THE INFLUENCE OF<br/>MENTAL WORK ON BLOOD PRESSURE IN HEALTHY CHILDREN .....</b> | <b>46</b>  |
| <b>CHAPITRE 8 – RÉSULTATS SECONDAIRES .....</b>  | <b>64</b>  |
| 8.1 Variabilité de la fréquence cardiaque et travail mental .....  | 64         |
| 8.2 Comparaison des groupes d’IMC .....  | 65         |
| <b>CHAPITRE 9 - DISCUSSION .....</b>   | <b>68</b>  |
| <b>CONCLUSION .....</b>  | <b>76</b>  |
| <b>RÉFÉRENCES.....</b>   | <b>77</b>  |
| <b>APPENDICE A .....</b>   | <b>108</b> |

## **LISTE DE TABLEAUX**

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Charte d'IMC pour l'âge chez les garçons 5-18 ans (OMS 2007).....   | 19 |
| Tableau 2: Charte d'IMC pour l'âge chez les filles 5-18 ans (OMS 2007).....  | 20 |
| Tableau 3: Données normatives de percentile de la VFC ajustées pour l'âge et la fréquence cardiaque par sexe chez l'enfant ..... | 30 |
| Tableau 4: Variables de la réactivité cardiovasculaire selon les différentes conditions ...                                      | 65 |
| Tableau 5: Caractéristiques de base des participants .....   | 66 |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Organisation du système nerveux.....                                     | 15 |
| Figure 2: Mécanismes hypotenseurs aigus et chroniques de l'activité physique ..... | 23 |
| Figure 3: Intervalle RR normal retrouvé sur un électrocardiogramme .....           | 26 |
| Figure 4: Installation de l'appareil Actiheart©.....                               | 45 |

## INTRODUCTION

L'homme existe depuis plus de 4 millions d'années. Pendant presque toute son existence, la chasse et la cueillette ont fait partie intégrante de son quotidien pour se nourrir et survivre. L'évolution et la survie de l'espèce dépendaient de l'adaptation à ce mode de vie physiquement actif. Cependant, les dernières décennies ont entraîné un changement radical avec l'urbanisation et les nouvelles technologies. Ces changements ont grandement amélioré la santé de l'humain en améliorant sa qualité de vie et sa longévité. Par contre, l'évolution n'a pas préparé l'homme à ce nouveau mode de vie à dominance sédentaire qui représente moins de 1% de toute son existence. « *We are now exposed to an enormous experiment- without control groups* » (Astrand, 1992).

Aujourd'hui, les autorités en matière de santé publique estiment que 85% des Canadiens adultes ne rencontrent pas les recommandations de 150 minutes d'activité physique d'intensité moyenne ou élevée par semaine (Colley et al., 2011b). La pratique régulière d'activités physiques est reconnue comme un déterminant essentiel de la santé des individus (Archer & Blair, 2011). À l'inverse, un mode de vie sédentaire est associé à une mortalité plus élevée et au développement de plusieurs pathologies chroniques. Dans les pays industrialisés, on retrouve en tête de liste de ces pathologies les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2, l'hypertension artérielle et certains cancers (Morrow, Jackson, Bazzarre, Milne, & Blair, 1999). Les coûts totaux liés à l'inactivité

physique au Canada en 2009 étaient estimés à 6,8 milliards de dollars, ce qui représente 3,7% des coûts en soins de santé (Janssen, 2012).

Selon l'Enquête canadienne sur les mesures de santé (2007-2009), le même phénomène de sédentarité est observé chez les enfants canadiens. Seulement 4% des filles et 9% des garçons rencontrent les nouvelles recommandations canadiennes en matière d'activité physique de 60 minutes par jour à intensité moyenne ou élevée au moins 6 jours par semaine. De plus, on constate qu'ils consacrent en moyenne 8,6 heures par jour à la pratique d'activités sédentaires, ce qui représente 62% du temps d'éveil (Colley et al., 2011b). Les données probantes indiquent également que la santé des enfants canadiens s'est détériorée au cours des dernières décennies (Tremblay et al., 2010). Comme les comportements établis à l'enfance sont des déterminants importants de la santé à l'âge adulte (Magnussen et al., 2010; Palve et al., 2014), ceci souligne la nécessité d'instaurer un mode de vie sain et actif dès le plus jeune âge. En plus des bienfaits sur la santé, il a été démontré que l'exercice de type aérobie à intensité moyenne ou élevée pratiqué avant un travail scolaire pouvait augmenter l'attention et la concentration chez les jeunes. Ainsi, suite à l'activité physique, il y aurait une amélioration du rendement académique (Hillman et al., 2009). Aussi, cet effet bénéfique perdure dans le temps chez les enfants actifs (Trudeau & Shephard, 2008).

L'urbanisation et les technologies modernes ont aussi amené la société à travailler de plus en plus cognitivement. Remplaçant l'effort physique, le travail mental est devenu à la base de l'innovation et de la productivité dans le contexte actuel. Cette

valorisation de la performance académique pousse les chercheurs à s'intéresser de plus en plus aux effets potentiels de cet effort cognitif sur l'organisme. Il semblerait que celui-ci ait des conséquences non négligeables sur le système cardiovasculaire. Le travail mental provoquerait, entre autres, une augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ainsi qu'une diminution de la variabilité de la fréquence cardiaque chez l'adulte en bonne santé (Hjortskov et al., 2004; Perusse-Lachance et al., 2011). À ce jour, les données sur la réponse physiologique au travail mental sont très limitées dans la littérature et sont pratiquement inexistantes chez l'enfant. Par contre, quelques données démontrent que les enfants dont la réactivité cardiovasculaire à un stress mental est plus forte seraient plus susceptibles de devenir des adultes hypertendus (von Eiff, Gogolin, Jacobs, & Neus, 1985). Le travail mental aurait donc potentiellement un rôle à jouer dans le développement des maladies cardiovasculaires. Étant donné l'importante valorisation des performances académiques dans la société actuelle, il est nécessaire de s'intéresser à ce phénomène.

Dans le but de prévenir les maladies cardiovasculaires dès le plus jeune âge, qui sont en tête des principales causes de décès mondialement depuis plusieurs années (OMS 2012), ce travail de maîtrise vise tout d'abord à évaluer les effets du travail mental, engendrés par une période scolaire, sur la réactivité cardiovasculaire de l'enfant d'âge primaire. Il permettra, par le fait-même, de générer des données préliminaires sur le sujet et d'analyser les différences de réactions entre les garçons et les filles ainsi qu'entre les enfants de poids sain et ceux présentant un excès de poids. Nous croyons que tout comme chez l'adulte, les enfants présenteront une augmentation de la réactivité

cardiovasculaire lors du travail mental et que le sexe féminin accentuera ces effets. Nous croyons aussi que les enfants présentant une surcharge pondérale réagiront plus fortement à ce stimulus. Le second objectif est d'évaluer l'impact d'une période d'éducation physique précédant l'effort cognitif afin d'en minimiser les effets sur la réactivité cardiovasculaire. Grâce à son effet hypotenseur, nous croyons que l'activité physique aura un rôle de prévention et permettra de contrer cette augmentation.

# CHAPITRE 1 – L’ACTIVITÉ PHYSIQUE

La définition de l’activité physique la plus utilisée est celle qui a été proposée par Caspersen, en 1985 : «*ensemble des mouvements corporels produits par la mise en action des muscles squelettiques entraînant une augmentation substantielle de la dépense énergétique au-dessus du métabolisme de repos*» (Caspersen, Powell, & Christenson, 1985).

## 1.1 Activité physique et santé

Durant la majeure partie de l’existence de l’homme, l’activité physique était nécessaire à la survie. Conséquemment, les systèmes cardiovasculaire et musculosquelettique de l’humain se sont développés pour répondre à la demande de l’environnement. La base du mode de vie a progressé passant de la chasse à l’agriculture, puis récemment, à l’industrialisation. Ces transitions ont entraîné une diminution du travail physique et la sédentarisation de la population amenant ainsi la société moderne à faire face aux maladies chroniques et cardiovasculaires que nous connaissons aujourd’hui (Archer & Blair, 2011).

Il y a plus de 2000 ans, Hippocrate disait qu’un manque ou une surdose d’activité physique étaient nuisibles à la santé (Berryman, 1989). Depuis ce jour, il a été largement démontré que l’activité physique pratiquée régulièrement contribue au maintien d’une bonne santé (Archer & Blair, 2011; Reiner, Niermann, Jekauc, & Woll, 2013; Waller, Kujala, Kaprio, Koskenvuo, & Rantanen, 2010). La sédentarité est

aujourd’hui placée au quatrième rang des facteurs de risques modifiables responsables de la mortalité à l’échelle mondiale. Bien que l’activité physique présente certains risques, il a été démontré que les bénéfices associés à sa pratique surpassent les risques auxquels elle peut exposer l’humain (Melzer, Kayser, & Pichard, 2004).

Plusieurs évidences suggèrent que pratiquer un minimum de 150 minutes d’activité physique de type aérobie par semaine procurerait des effets bénéfiques substantiels pour la santé de l’individu (Ballard-Barbash et al., 2009). L’aérobie est une forme d’activité physique qui sollicite les grandes masses musculaires de l’organisme pendant une période de temps soutenue. C’est en 2008 qu’un groupe d’experts a émis ces recommandations suite à une revue de la littérature sur le sujet (Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008). Les lignes directrices en matière d’activité physique de l’Organisation mondiale de la santé se basent sur ces recommandations. Par contre, une importante étude a permis de démontrer qu’une pratique moindre pouvait aussi procurer certains bénéfices sur la longévité (Wen et al., 2011). Selon les auteurs, 15 minutes par jour ou 90 minutes par semaine peuvent réduire le risque de mortalité de toute cause de 14% et augmenter l’espérance de vie de trois ans. Les bienfaits pour la santé augmentent avec la quantité puisque chaque effort supplémentaire de 15 minutes quotidiennement réduit le risque de mortalité de 4%. Ce constat est vrai autant pour les hommes que pour les femmes, les enfants ou les individus symptomatiques. Cette relation dose-réponse de l’activité physique et des déterminants de la santé a aussi été très bien documentée en 2001 dans la méta-analyse de Williams regroupant 23 cohortes spécifiques (1 325 004 individus par année de suivi)

(Williams, 2001). En effet, le risque relatif de maladies coronariennes et cardiovasculaires diminuait de façon linéaire avec l'augmentation du temps consacré à l'activité physique. Les chercheurs ont aussi constaté que cette réduction du risque était près de deux fois plus importante lorsqu'on considère la condition physique au lieu de la quantité d'activité physique.

La littérature soutient que l'activité physique pratiquée de façon régulière procure un effet protecteur sur le système cardiovasculaire (Archer & Blair, 2011; Kodama et al., 2013; Oguma & Shinoda-Tagawa, 2004; Pols, Peeters, Twisk, Kemper, & Grobbee, 1997; Wannamethee & Shaper, 2002). C'est en 1953 que le professeur Morris a introduit ce concept en comparant le taux de mortalité cardiovasculaire d'individus ayant un travail sédentaire à ceux ayant un travail physiquement actif (Morris, Heady, Raffle, Roberts, & Parks, 1953). Il a conclu qu'un travail actif permettait de réduire l'incidence d'infarctus du myocarde et repoussait la mortalité. Il est aujourd'hui suggéré que 30 minutes d'activité physique d'intensité moyenne à élevée permettrait de retarder l'apparition ou la progression des maladies cardiovasculaires en ayant un effet non seulement sur l'adiposité, mais aussi sur la sensibilité à l'insuline, le contrôle glycémique, l'incidence du diabète de type 2, la pression artérielle, les fonctions endothéliales et la défense inflammatoire (Bassuk & Manson, 2010). Ces adaptations physiologiques seraient aussi possibles chez des individus obèses (Danielsen, Svendsen, Maehlum, & Sundgot-Borgen, 2013). Lee et collaborateurs (1999) suggèrent même que le surpoids et l'obésité ne semble pas augmenter le risque de mortalité chez les individus en bonne condition physique (Lee, Blair, & Jackson,

1999). Cette hypothèse a aussi été confirmée par l'équipe de Church avec une population d'hommes diabétiques de type 2 (Church, LaMonte, Barlow, & Blair, 2005). La capacité cardiorespiratoire serait le meilleur prédicteur de mortalité surpassant l'hypertension artérielle, le tabagisme, le diabète et l'obésité (Blair, 2009). L'activité physique aurait donc une forte relation inverse avec les facteurs de risques de maladie cardiovasculaire et le risque de mortalité (Reddigan, Ardern, Riddell, & Kuk, 2011). Il semble également que l'augmentation de l'intensité de l'exercice améliore les bénéfices sur la protection du système cardiovasculaire (Lee, Sesso, Gurna, & Paffenbarger, 2003; Williams, 2013).

Chez les enfants, les manifestations de troubles cardiovasculaires sont rares. Par contre, les facteurs et les comportements à risque d'accélérer leur processus de développement débutent dès l'enfance (Balagopal et al., 2011; Freedman et al., 2005; Palve et al., 2014). D'ailleurs, les activités sédentaires sont positivement associées à la présence d'obésité chez des jeunes de 12 ans (Mitchell et al., 2009; Ness et al., 2007; Riddoch et al., 2009). Depuis quelques années, des signes d'athérosclérose sont visibles chez certains enfants à partir de neuf ans ("Expert panel on integrated guidelines for cardiovascular health and risk reduction in children and adolescents: summary report," 2011). Cliniquement, les infarctus du myocarde, les accidents vasculaires cérébraux (AVC) et la maladie artérielle périphérique sont des conséquences à long terme du processus vasculaire d'athérosclérose. En ce sens, plusieurs auteurs suggèrent que la pratique régulière d'activité physique dès l'enfance permettrait de prévenir ces pathologies ou du moins de les retarder (Carson et al., 2014; Chaput et al., 2013;

Countryman et al., 2013; Eisenmann, 2004). L'exercice chez les jeunes entraîne, entre autres, une réduction de la pression artérielle et du taux de triglycérides après un programme structuré de six mois (Cesa et al., 2014). À l'opposé, il a été bien démontré qu'une faible condition cardiorespiratoire chez les jeunes est fortement associée à des risques de maladies cardiovasculaires, et ce indépendamment de l'âge, du sexe et de l'ethnie (Anderssen et al., 2007).

Au Canada, une étude a évalué le niveau d'activité physique des adultes de 20 à 79 ans de 2007 à 2009 à l'aide d'accéléromètres (Colley et al., 2011a). L'étude présentait le temps passé quotidiennement en activités sédentaires, à intensité faible, moyenne et élevée par jour. Selon les résultats, les auteurs estiment que seulement 15% de la population canadienne rencontre les exigences minimales hebdomadaires en matière d'activité physique. On constate également que les hommes sont plus actifs que les femmes et que le temps consacré à l'activité physique d'intensité moyenne à élevée diminue avec l'âge et l'adiposité des gens. Les Canadiens adultes sont sédentaires 9,5 heures par jour ce qui représente 69% du temps d'éveil. Les constats sont similaires chez les jeunes avec seulement 7% de ceux-ci qui atteignent le niveau d'activité physique minimum de 60 minutes par jour et ce pourcentage a tendance à diminuer avec l'âge. Les garçons sont un peu plus actifs que les filles à chaque tranche d'âge. En moyenne 8,6 heures par jour (62% du temps d'éveil) seraient consacrées à des activités sédentaires. Malgré la mise en place de programmes et d'infrastructures pour contrer ce problème de sédentarité, le niveau d'activité physique des jeunes canadiens demeurent

faible et leur risques cardiométaboliques sont augmentés (Saunders, Chaput, & Tremblay, 2014).

## **1.2 Activité physique et performance scolaire**

La valorisation des performances académiques a entraîné une augmentation du temps scolaire et du travail mental au détriment de la pratique d'activité physique. Or, plusieurs études se sont intéressées à la relation entre l'activité physique pratiquée par les enfants et leurs résultats scolaires (Ardoy et al., 2014; Fedewa & Ahn, 2011; Kim & So, 2012). Dans une revue de littérature sur ce sujet, presque toutes les études recensées se rendent à la conclusion que l'augmentation du temps consacré à la pratique d'activités physiques est corrélée avec un meilleur rendement académiques (Trudeau & Shephard, 2008). Il a été déduit que lorsqu'une importante proportion du temps scolaire (14-26%) est allouée à l'éducation physique, le temps d'apprentissage est plus rapide en classe. L'exercice de type aérobie serait celui avec le plus d'effets sur cette performance (Fedewa & Ahn, 2011). L'augmentation de l'intensité de l'exercice serait aussi associée à de meilleurs résultats (Ardoy et al., 2013). Les élèves pratiquant plus d'activités physiques présenteraient une accélération de leur développement psychomoteur, ce qui contribuerait à l'apprentissage des habiletés académiques. Les autres mécanismes potentiellement impliqués dans l'amélioration académique sont l'augmentation du flux sanguin cérébral, une plus grande activation cérébrale, le changement dans la concentration des neurotransmetteurs, une amélioration de l'apport en nutriments, un changement dans la composition corporelle et une augmentation de l'estime de soi

(Shephard 1997). Une importante étude coréenne a voulu démontrer l'association entre la performance scolaire et le nombre de périodes d'éducation physique (n= 75066 adolescents) (Shin & So, 2012). Il a été conclu que plus de trois périodes d'éducation physique par semaine entraînaient une association positive avec les résultats scolaires. À l'inverse, cette étude a aussi été constaté que moins de trois périodes par semaine avaient une influence négative sur ceux-ci.

Une importante étude réalisée au Québec de 1970 à 1977 a observé 546 enfants d'âge primaire. Le groupe expérimental participait à 5 heures de cours d'éducation physique par semaine comparativement aux 40 minutes régulières du groupe contrôle. Bien que ce temps supplémentaire soit pris sur le temps académique, on constate, lors des 5 dernières années du primaire, une amélioration de la performance scolaire générale pour le groupe expérimental (Shephard 1997).

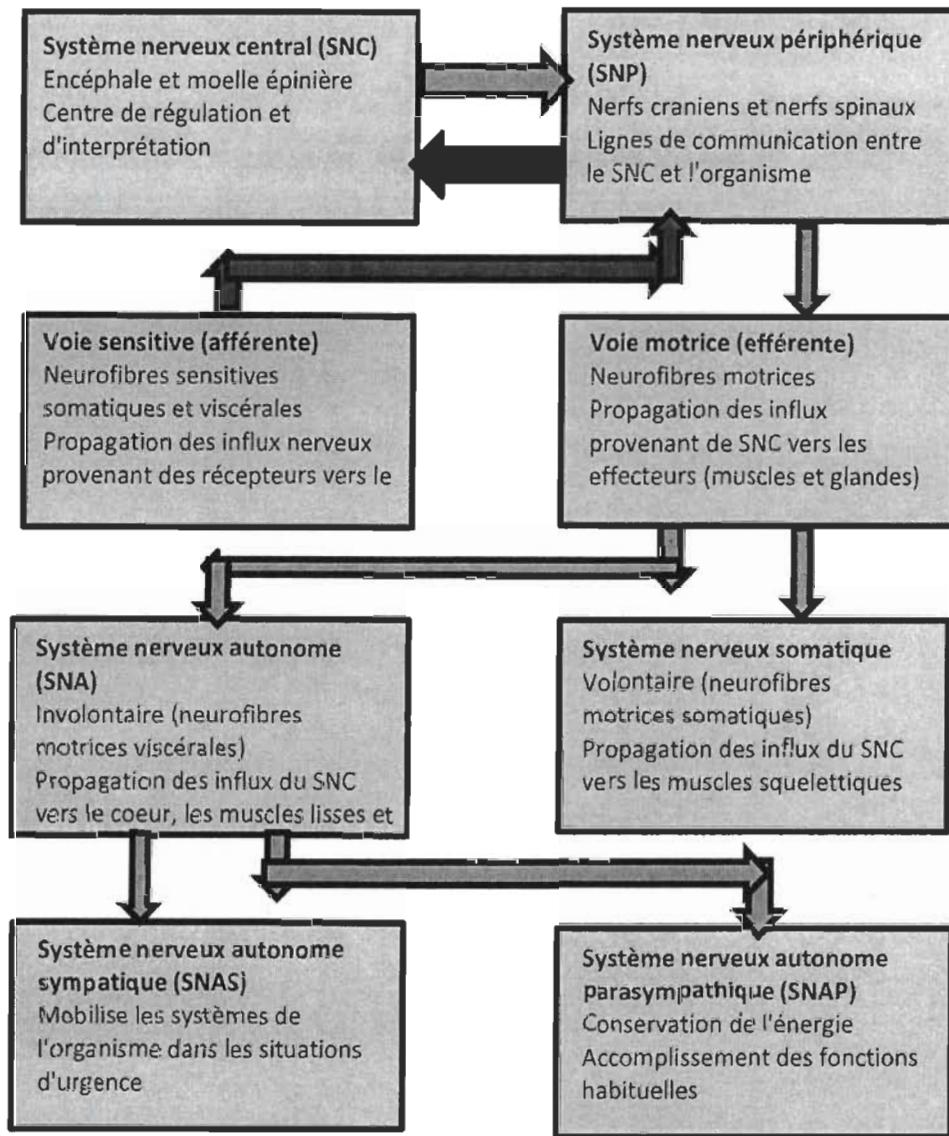
En Australie, 1,25 heure d'activité physique a été ajouté chaque jour durant les périodes scolaires de 519 enfants âgés de 10 ans (Dwyer, Coonan, Leitch, Hetzel, & Baghurst, 1983). Après les 14 premières semaines, les sujets du groupe expérimental présentaient une amélioration de leur condition physique et de leur composition corporelle. En dépit de la réduction du temps de classe des étudiants (210 minutes par semaine, environ 14% du temps total d'enseignement), aucune différence significative n'a été observée dans les résultats de mathématiques et de lecture par rapport au groupe contrôle.

Afin de comprendre ce phénomène, certains chercheurs se sont intéressés à l'activité neuro-électrique du cerveau lors de périodes scolaires (Hillman et al., 2009; Pontifex, Saliba, Raine, Picchietti, & Hillman, 2013). Dans son étude réalisée en 2009, l'équipe d'Hillman a voulu observer l'effet d'une séance de marche sur tapis roulant de 20 minutes à intensité moyenne (60% de la fréquence cardiaque maximale estimée) sur les performances académiques. Vingt préadolescents (9 à 10 ans) ont été testés à l'aide d'un questionnaire académique suite à une condition de repos et suite à l'activité physique. En plus d'observer de meilleures performances au test suite à l'exercice, les chercheurs ont noté une plus grande activité neuro-électrique par électroencéphalogramme durant la tâche. La conclusion des chercheurs est que la participation à de l'exercice aérobique augmente l'utilisation des ressources attentionnelles (Hillman et al., 2009). Toutes ces études démontrent bien que de diminuer le temps d'activité physique n'est pas une bonne solution pour encourager les performances scolaires des enfants et pourrait même avoir l'effet contraire. En considérant les bienfaits de la pratique d'activité physique sur la santé et sur les résultats académiques, les cours d'éducation physique devraient prendre une grande importance dans les écoles.

## CHAPITRE 2 – ORGANISATION DU SYSTÈME NERVEUX

Afin de bien comprendre les mesures de réactivité cardiovasculaire qui seront prises dans cette étude, il est nécessaire de décrire le fonctionnement du système qui les contrôle. Le système nerveux est responsable de recueillir l'information provenant de l'extérieur du corps, de la traiter et de communiquer rapidement les tâches à effectuer aux différentes parties de l'organisme. On le divise en deux grands ensembles soit le système nerveux central (SNC) et le système nerveux périphérique (SNP). Le SNC comprend l'encéphale et la moelle épinière. Il s'occupe de la réception et du traitement de l'information afférente ainsi que de l'émission des messages nerveux. Le SNP sert de pont avec l'environnement extérieur. Il communique l'information aux différentes parties du corps. Il est constitué du système nerveux somatique et du système nerveux autonome (SNA). Pour les besoins de ce travail, seulement ce dernier sera abordé. Les fonctions de base chez l'humain comme la respiration, le système cardiovasculaire, digestif, hormonal et immunitaire sont dirigés par le SNA. Celui-ci s'occupe de réguler les actions involontaires de l'organisme. Il a pour rôle de maintenir l'homéostasie à l'intérieur du corps. Pour se faire, on le divise encore une fois en deux parties distinctes : le système nerveux autonome parasympathique (SNAP) et le système nerveux autonome sympathique (SNAS). Le SNAS est associé à la mobilisation d'énergie en période de stress, il a donc une fonction excitatrice sur l'organisme. Lorsque nécessaire, il peut, par exemple, augmenter la fréquence cardiaque et respiratoire, la force de contraction du cœur, l'action des glandes sudoripares et diminuer l'action du système digestif. Tout

ceci dans le but de préparer l'organisme à répondre à une situation d'urgence. Le SNAP a, pour sa part, une fonction antagoniste au SNAS c'est-à-dire qu'il économise l'énergie. Il procure un effet relaxant sur l'organisme en abaissant la fréquence cardiaque et la pression artérielle par exemple. Comme la majorité des organes sont innervés par ces deux systèmes, ils agissent de pair sur l'organisme afin de maintenir l'équilibre des fonctions et de lui permettre de réagir à chaque situation. (De Jong & Randall, 2005; Marieb et al., 2010). Les différentes fonctions du système nerveux sont schématisées à la figure 1.



**Figure 1:** Organisation du système nerveux

Adaptée de Marieb et al., (2010). Essentials of human anatomy & physiology laboratory manual. (4<sup>e</sup> edition). San Francisco : Benjamin Cummings

## CHAPITRE 3 – PRESSION ARTÉRIELLE

La pression artérielle est une mesure de la force exercée par le sang sur les parois des artères. Son contrôle est assuré par le SNA via l'action sympathique et parasympathique. Le stress est un stimulus capable de faire augmenter la pression artérielle par une hausse de l'activité sympathique. Comme ce travail suggère que le travail mental serait une forme de stress potentiellement apte à perturber le SNA, il est nécessaire de s'intéresser à son impact sur la pression artérielle. La méthode privilégiée pour la mesure de la pression artérielle chez l'enfant est par auscultation à partir de l'artère brachiale ("The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents," 2004).

### 3.1 Pression artérielle chez l'enfant

L'hypertension artérielle (HTA) est souvent associée à l'âge adulte. Par contre, la littérature rapporte que son développement commence généralement à l'enfance (Balagopal et al., 2011). Les enfants avec une pression artérielle élevée sont plus à risque de développer des maladies cardiovasculaires à l'âge adulte. Par ailleurs, 50% des adultes hypertendus avaient une pression artérielle systolique (PAS) élevée pendant l'enfance (Bao, Threelfoot, Srinivasan, & Berenson, 1995). Plusieurs complications connues à l'âge adulte ont aussi été rapportées chez les jeunes tels l'hypertrophie du ventricule gauche, le dysfonctionnement diastolique, les dépôts lipidiques dans l'aorte et l'artère coronaire, la rétinopathie et l'hyperfiltration glomérulaire (Mazor-Aronovitch,

Lotan, Modan-Moses, Fradkin, & Pinhas-Hamiel, 2014). De plus les études épidémiologiques tendent à démontrer que les jeunes sont de plus en plus nombreux à souffrir d'HTA. Vers la fin des années 1970, une prévalence de 1 à 2% était rapportée (Fixler, Laird, Fitzgerald, Stead, & Adams, 1979) tandis que des études récentes présentent des taux allant jusqu'à 13 à 17% dans les pays industrialisés possiblement associés à l'augmentation de l'obésité (Maldonado, Pereira, Fernandes, Santos, & Carvalho, 2011; Sorof, Poffenbarger, Franco, Bernard, & Portman, 2002).

Contrairement à l'adulte, l'HTA chez l'enfant ne se définit pas par des valeurs fixes, mais en fonction de l'âge, du sexe et de la taille. Lorsque la PAS et/ou la pression artérielle diastolique (PAD) est plus grande ou égale au 95<sup>e</sup> percentile on parle d'hypertension artérielle. Au moins trois mesures, lors de visites séparées, sont nécessaires pour porter ce diagnostic. Lorsque la PAS et/ou la PAD est plus grande que le 90<sup>e</sup> percentile, mais plus petite que le 95<sup>e</sup> percentile, on parle de pré-HTA. Chez les enfants de plus de 12 ans, une PAS plus élevée que 120 mmHg et une PAD plus élevée que 80 mmHg sont aussi considérées comme de la pré-HTA ("The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents," 2004).

Il existe deux types d'HTA : la forme primaire qui est associée étroitement à la résistance à l'insuline, aux habitudes de vie, à l'obésité et aux antécédents familiaux ainsi que l'HTA secondaire qui est la conséquence d'un autre trouble, souvent la maladie rénale. Auparavant, la majorité des patients pédiatriques étaient atteints d'HTA

secondaire et seulement 16% présentaient la forme primaire (Ebbeling, Pawlak, & Ludwig, 2002), tandis qu'aujourd'hui, près de 50% sont atteints d'HTA primaire (Brady & Feld, 2009).

### **3.2 Relation entre la pression artérielle et l'obésité chez l'enfant**

L'obésité est un phénomène qui prend de plus en plus d'importance chez les jeunes. Les dernières données rapportent que son taux a presque triplé chez les enfants canadiens au cours des 30 dernières années. Près d'un tiers (31,5%) des jeunes de 5 à 17 ans sont en surpoids (19,8%) ou obèses (11,7%) (Roberts, Shields, de Groh, Aziz, & Gilbert, 2012). Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la relation entre le poids et la pression artérielle chez l'enfant. En fait, selon la littérature, il semble que l'obésité soit le facteur le plus intimement lié à l'HTA chez les jeunes (Americain Heart Association, 2010). Afin de démontrer cette relation, la plupart des études utilisent l'indice de masse corporelle (IMC) pour classifier les sujets. Chez les enfants, la classification de l'IMC est ajustée en fonction de l'âge et du sexe (tableaux 1 et 2).

**Tableau 1:** Charte d'IMC pour l'âge chez les garçons 5-18 ans (OMS 2007)

| Age<br>(ans:mois) | Obésité<br>$\geq +2$ DS<br>(IMC) | Surpoids<br>$\geq +1$ à $< +2$ DS<br>(IMC) | Etat nutritionel<br>normal<br>$\geq -1$ à $< +1$ DS<br>(IMC) | Malnutrition<br>légère<br>$\geq -2$ à $< -1$ DS<br>(IMC) | Malnutrition<br>modérée<br>$\geq -3$ à $< -2$ DS<br>(IMC) | Malnutrition<br>sévère<br>$< -3$ DS<br>(IMC) |
|-------------------|----------------------------------|--|--|--|---|--|
| 5:1               | <b><math>\geq 18.3</math></b>    | 16.6-18.2                                  | 14.1-16.5  | 13.0-14.0  | 12.1-12.9   | $< 12.1$                                     |
| 5:6               | <b><math>\geq 18.4</math></b>    | 16.7-18.3                                  | 14.1-16.6  | 13.0-14.0  | 12.1-12.9   | $< 12.1$                                     |
| 6:0               | <b><math>\geq 18.5</math></b>    | 16.8-18.4                                  | 14.1-16.7  | 13.0-14.0  | 12.1-12.9   | $< 12.1$                                     |
| 6:6               | <b><math>\geq 18.7</math></b>    | 16.9-18.6                                  | 14.1-16.8  | 13.1-14.0  | 12.2-13.0   | $< 12.2$                                     |
| 7:0               | <b><math>\geq 19.0</math></b>    | 17.0-18.9                                  | 14.2-16.9  | 13.1-14.1  | 12.3-13.0   | $< 12.3$                                     |
| 7:6               | <b><math>\geq 19.3</math></b>    | 17.2-19.2                                  | 14.3-17.1  | 13.2-14.2  | 12.3-13.1   | $< 12.3$                                     |
| 8:0               | <b><math>\geq 19.7</math></b>    | 17.4-19.6                                  | 14.4-17.3  | 13.3-14.3  | 12.4-13.2   | $< 12.4$                                     |
| 8:6               | <b><math>\geq 20.1</math></b>    | 17.7-20.0                                  | 14.5-17.6  | 13.4-14.4  | 12.5-13.3   | $< 12.5$                                     |
| 9:0               | <b><math>\geq 20.5</math></b>    | 17.9-20.4                                  | 14.6-17.8  | 13.5-14.5  | 12.6-13.4   | $< 12.6$                                     |
| 9:6               | <b><math>\geq 20.9</math></b>    | 18.2-20.8                                  | 14.8-19.1  | 13.6-14.7  | 12.7-13.5   | $< 12.7$                                     |
| 10:0              | <b><math>\geq 21.4</math></b>    | 18.5-21.3                                  | 14.9-18.4  | 13.7-14.8  | 12.8-13.6   | $< 12.8$                                     |
| 10:6              | <b><math>\geq 21.9</math></b>    | 18.8-21.8                                  | 15.1-18.7  | 13.9-15.0  | 12.9-13.8   | $< 12.9$                                     |
| 11:0              | <b><math>\geq 22.5</math></b>    | 19.2-22.4                                  | 15.3-19.1  | 14.1-15.2  | 13.1-14.0   | $< 13.1$                                     |
| 11:6              | <b><math>\geq 23.0</math></b>    | 19.5-22.9                                  | 15.5-19.4  | 14.2-15.4  | 13.2-14.1   | $< 13.2$                                     |
| 12:0              | <b><math>\geq 23.6</math></b>    | 19.9-23.5                                  | 15.8-19.8  | 14.5-15.7  | 13.4-14.4   | $< 13.4$                                     |
| 12:6              | <b><math>\geq 24.2</math></b>    | 20.4-24.1                                  | 16.1-20.3  | 14.7-16.0  | 13.6-14.6   | $< 13.6$                                     |
| 13:0              | <b><math>\geq 24.8</math></b>    | 20.8-24.7                                  | 16.4-20.7  | 14.9-16.3  | 13.8-14.8   | $< 13.8$                                     |
| 13:6              | <b><math>\geq 25.3</math></b>    | 21.3-25.2                                  | 16.7-21.2  | 15.2-16.6  | 14.0-15.1   | $< 14.0$                                     |
| 14:0              | <b><math>\geq 25.9</math></b>    | 21.8-25.8                                  | 17.0-21.7  | 15.5-16.9  | 14.3-15.4   | $< 14.3$                                     |
| 14:6              | <b><math>\geq 26.5</math></b>    | 22.2-26.4                                  | 17.3-22.1  | 15.7-17.2  | 14.5-15.6   | $< 14.5$                                     |
| 15:0              | <b><math>\geq 27.0</math></b>    | 22.7-26.9                                  | 17.6-22.6  | 16.0-17.5  | 14.7-15.9   | $< 14.7$                                     |
| 15:6              | <b><math>\geq 27.4</math></b>    | 23.1-27.3                                  | 18.0-23.0  | 16.3-17.9  | 14.9-16.2   | $< 14.9$                                     |
| 16:0              | <b><math>\geq 27.9</math></b>    | 23.5-27.8                                  | 18.2-23.4  | 16.5-18.1  | 15.1-16.4   | $< 15.1$                                     |
| 16:6              | <b><math>\geq 28.3</math></b>    | 23.9-28.2                                  | 18.5-28.1  | 16.7-18.4  | 15.3-16.6   | $< 15.3$                                     |
| 17:0              | <b><math>\geq 28.6</math></b>    | 24.3-28.5                                  | 18.8-24.2  | 16.9-18.7  | 15.4-16.8   | $< 15.4$                                     |
| 17:6              | <b><math>\geq 29.0</math></b>    | 24.6-28.9                                  | 19.0-24.5  | 17.1-18.9  | 15.6-17.0   | $< 15.6$                                     |
| 18:0              | <b><math>\geq 29.2</math></b>    | 24.9-29.1                                  | 19.2-24.8  | 17.3-19.1  | 15.7-17.2   | $< 15.7$                                     |

Tableau 2: Charte d'IMC pour l'âge chez les filles 5-18 ans (OMS 2007)

| Age<br>(ans:mois) | Obésité<br>$\geq +2 DS$<br>(IMC) | Surpoids<br>$\geq +1 à < +2 DS$<br>(IMC) | Etat nutritionnel<br>normal<br>$\geq -1 à < +1 DS$<br>(IMC) | Malnutrition<br>légère<br>$\geq -2 à < -1 DS$<br>(IMC) | Malnutrition<br>modérée<br>$\geq -3 à < -2 DS$<br>(IMC) | Malnutrition<br>sévère<br>$< -3 DS$<br>(IMC) |
|-------------------|----------------------------------|--|---|--|---|--|
| 5:1               | <b><math>\geq 18.9</math></b>    | 16.9-18.8                                | 13.9-16.8   | 12.7-13.8  | 11.8-12.6   | <11.8  |
| 5:6               | <b><math>\geq 19.0</math></b>    | 16.9-18.9                                | 13.9-16.8   | 12.7-13.8  | 11.7-12.6   | <11.7  |
| 6:0               | <b><math>\geq 19.2</math></b>    | 17.0-19.1                                | 13.9-16.9   | 12.7-13.8  | 11.7-12.6   | <11.7  |
| 6:6               | <b><math>\geq 19.5</math></b>    | 17.1-19.4                                | 13.9-17.0   | 12.7-13.8  | 11.7-12.6   | <11.7  |
| 7:0               | <b><math>\geq 19.8</math></b>    | 17.3-19.7                                | 13.9-17.2   | 12.7-13.8  | 11.8-12.6   | <11.8  |
| 7:6               | <b><math>\geq 20.1</math></b>    | 17.5-20.0                                | 14.0-17.4   | 12.8-13.9  | 11.8-12.7   | <11.8  |
| 8:0               | <b><math>\geq 20.6</math></b>    | 17.7-20.5                                | 14.1-17.6   | 12.9-14.0  | 11.9-12.8   | <11.9  |
| 8:6               | <b><math>\geq 21.0</math></b>    | 18.0-20.9                                | 14.3-17.9   | 13.0-14.2  | 12.0-12.9   | <12.0  |
| 9:0               | <b><math>\geq 21.5</math></b>    | 18.3-21.4                                | 14.4-18.2   | 13.1-14.3  | 12.1-13.0   | <12.1  |
| 9:6               | <b><math>\geq 22.0</math></b>    | 18.7-21.9                                | 14.6-18.6   | 13.3-14.5  | 12.2-13.2   | <12.2  |
| 10:0              | <b><math>\geq 22.6</math></b>    | 19.0-22.5                                | 14.8-18.9   | 13.5-14.7  | 12.4-13.4   | <12.4  |
| 10:6              | <b><math>\geq 23.1</math></b>    | 19.4-23.0                                | 15.1-19.3   | 13.7-15.0  | 12.5-13.6   | <12.5  |
| 11:0              | <b><math>\geq 23.7</math></b>    | 19.9-23.6                                | 15.3-19.8   | 13.9-15.2  | 12.7-13.8   | <12.7  |
| 11:6              | <b><math>\geq 24.3</math></b>    | 20.3-24.2                                | 15.6-20.2   | 14.1-15.5  | 12.9-14.0   | <12.9  |
| 12:0              | <b><math>\geq 25.0</math></b>    | 20.8-24.9                                | 16.0-20.7   | 14.4-15.9  | 13.2-14.3   | <13.2  |
| 12:6              | <b><math>\geq 25.6</math></b>    | 21.3-25.5                                | 16.3-21.2   | 14.7-16.2  | 13.4-14.6   | <13.4  |
| 13:0              | <b><math>\geq 26.2</math></b>    | 21.8-26.1                                | 16.6-21.7   | 14.9-16.5  | 13.6-14.8   | <13.6  |
| 13:6              | <b><math>\geq 26.8</math></b>    | 22.3-26.7                                | 16.9-22.2   | 15.2-16.8  | 13.8-15.1   | <13.8  |
| 14:0              | <b><math>\geq 27.3</math></b>    | 22.7-27.2                                | 17.2-22.6   | 15.4-17.1  | 14.0-15.3   | <14.0  |
| 14:6              | <b><math>\geq 27.8</math></b>    | 23.1-27.7                                | 17.5-23.0   | 15.7-17.4  | 14.2-15.6   | <14.2  |
| 15:0              | <b><math>\geq 28.2</math></b>    | 23.5-28.1                                | 17.8-23.4   | 15.9-17.7  | 14.4-15.8   | <14.4  |
| 15:6              | <b><math>\geq 28.6</math></b>    | 23.8-28.5                                | 18.0-23.7   | 16.0-17.9  | 14.5-15.9   | <14.5  |
| 16:0              | <b><math>\geq 28.9</math></b>    | 24.1-28.8                                | 18.2-24.0   | 16.2-18.1  | 14.6-16.1   | <14.6  |
| 16:6              | <b><math>\geq 29.1</math></b>    | 24.3-29.0                                | 18.3-24.2   | 16.3-18.2  | 14.7-16.2   | <14.7  |
| 17:0              | <b><math>\geq 29.3</math></b>    | 24.5-29.2                                | 18.4-24.4   | 16.4-18.3  | 14.7-16.3   | <14.7  |
| 17:6              | <b><math>\geq 29.4</math></b>    | 24.6-29.3                                | 18.5-24.5   | 16.4-18.4  | 14.7-16.3   | <14.7  |
| 18:0              | <b><math>\geq 29.5</math></b>    | 24.8-29.4                                | 18.6-24.7   | 16.4-18.5  | 14.7-16.3   | <14.7  |

Il semble clairement établi que l'augmentation de l'IMC soit corrélée avec une pression artérielle plus élevée. Selon l'étude de Rosaneli et coll. (2014), dans laquelle 4609 enfants de 6 à 11 ans ont été recrutés, l'HTA était présente chez 11,2% des sujets normopondéraux, 20,6% des sujets en surpoids et 39,7% des sujets obèses. Des résultats similaires ont été présentés chez 264 adolescents (9 à 17 ans) en 2014 où des pressions artérielles élevées (pré-HTA et HTA) ont été enregistrées chez 2% des sujets normopondéraux comparativement à 31% des sujets en surpoids ou obèses. Les auteurs ont enregistré des corrélations fortement positives entre l'IMC, la PAS et la PAD (Mazor-Aronovitch et al., 2014). Dans une méta-analyse regroupant 63 études et un total de 49 220 enfants, les augmentations de pression artérielle en fonction de l'IMC ont été quantifiées. Il semble que les sujets en surpoids aient des valeurs au repos plus élevées de 4,5 mmHg et de 2,6 mmHg pour la PAS et la PAD respectivement. Dans le cas des sujets obèses, des hausses de 7,5 mmHg et de 4,1 mmHg sont enregistrées pour la PAS et la PAD respectivement (Friedemann et al., 2012). Le surpoids aurait donc une influence sur la pression artérielle et l'obésité engendrerait un effet encore plus marqué.

Selon une autre étude réalisée chez des adolescents, les auteurs présentent des résultats semblables, mais seulement pour les participants obèses. Selon eux, le surpoids n'aurait pas d'influence significative sur la prévalence d'HTA (Dalili et al., 2014). Toujours selon cette étude, la PAS serait corrélée à la hausse avec le surpoids et l'obésité tandis que la PAD ne serait augmentée que chez les sujets obèses. Sukhonthachi et coll. présentent eux aussi une relation significative entre la présence de pré-HTA et d'HTA avec l'obésité qui ne serait pas présente avec le surpoids

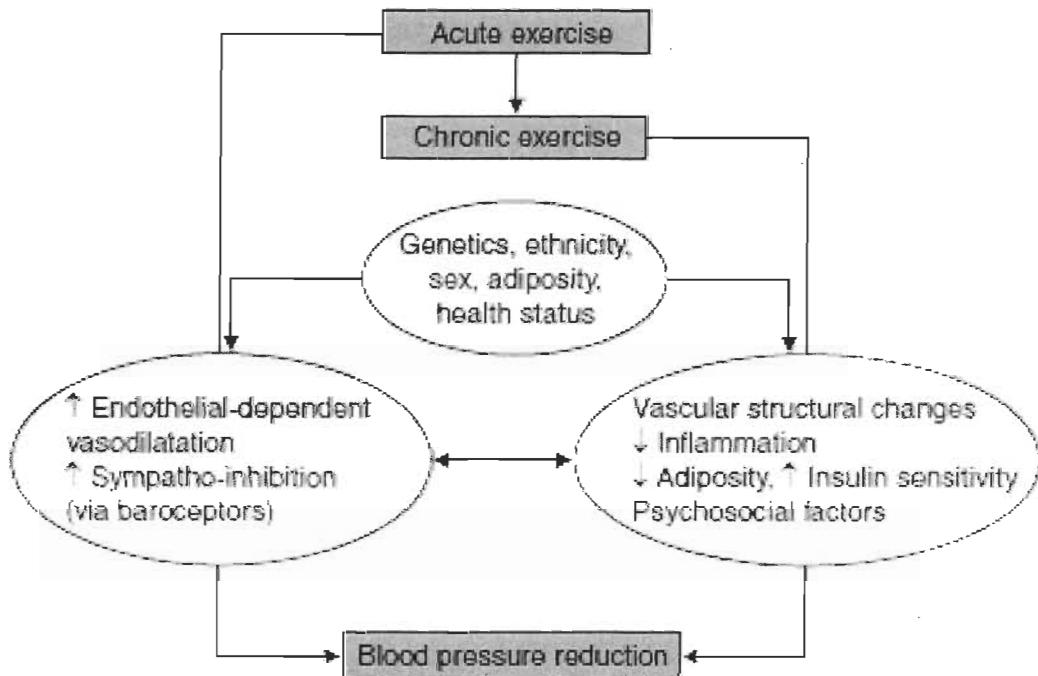
(Sukhonthachit, Aekplakorn, Hudthagosol, & Sirikulchayanonta, 2014). En fait, les sujets obèses présenteraient 9 fois plus de risques de souffrir de pré-HTA et 10,6 fois plus de risques d'HTA que ceux ayant un IMC dans la catégorie normale.

Plusieurs changements au niveau métabolique sont observés avec l'obésité. Il semble que le niveau de triglycérides et de cholestérol total soit plus élevé et la concentration de lipoprotéines à haute densité (HDL) soit plus faible chez les enfants obèses. (Friedemann et al., 2012; Hvidt, Olsen, Holm, & Ibsen, 2014). De plus, les niveaux d'insuline et la glycémie à jeun sont augmentés chez ces derniers. Hvidt et coll. (2014) soulignent aussi une hausse de la concentration de lipoprotéines à faible densité (LDL) ainsi qu'une augmentation de la rigidité artérielle associée à l'obésité. Dans leur méta-analyse, Fridemann et coll. ont aussi démontré que les enfants obèses présentaient une augmentation de la masse du ventricule gauche. Selon cette étude, les différences de concentrations en HDL et en triglycérides seraient aussi présentes chez les sujets en surpoids, mais à moins grande échelle. Il paraît donc évident que le surpoids et l'obésité entraînent des conséquences non négligeables sur le métabolisme et la santé et ce même en bas âge.

### **3.2 Effet de l'activité physique sur la pression artérielle**

L'activité physique permettrait de diminuer la pression artérielle par un effet aigu dans les 24 heures suivant un entraînement en endurance ainsi que par un effet chronique. Cette baisse serait plus marquée chez les individus ayant des valeurs plus

élevées de pression artérielle (Pescatello et al., 2004). Les mécanismes responsables sont présentés à la figure 2.



**Figure 2:** Mécanismes hypotenseurs aigus et chroniques de l'activité physique

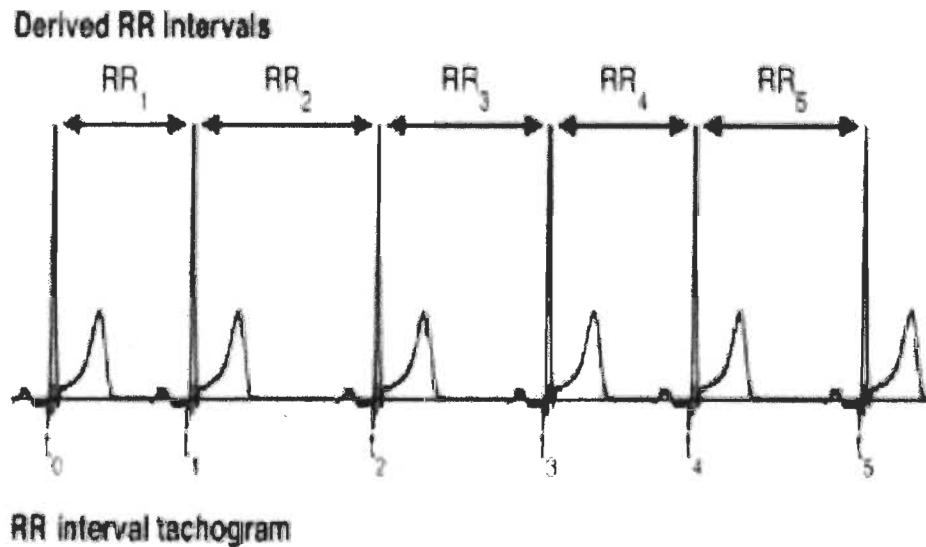
Tirée de: Hamer, M. (2006). The anti-hypertensive effects of exercise: integrating acute and chronic mechanisms. *Sports Med*

Dans les 24 heures suivant l'activité physique, des diminutions de 3,2 mmHg et 1,8 mmHg sont enregistrées pour la PAS ambulatoire et la PAD ambulatoire respectivement (Pescatello & Kulikowich, 2001). Cet effet serait possible grâce à une inhibition du tonus sympathique via les barorécepteurs et à la libération de substances vasodilatrices, notamment l'oxyde nitrique (Hamer, 2006). À plus long terme, l'activité physique de type aérobie pratiquée de façon régulière procure aussi une

réduction de la PAS et de la PAD. Une importante méta-analyse regroupant 72 études (3936 sujets) a démontré que les participants entraînés avaient une pression artérielle ambulatoire de jour systolique et diastolique de 3,3 mmHg et de 3,5 mmHg plus basses respectivement comparativement aux sédentaires (Cornelissen & Fagard, 2005). Cet effet hypotenseur serait principalement dû à la diminution de la résistance vasculaire périphérique résultant de mécanismes neuro-hormonaux et d'adaptations structurales au niveau des vaisseaux sanguins. De plus, cette réduction serait plus prononcée chez les sujets hypertendus. Ainsi, l'activité physique semble être un bon moyen pour prévenir l'HTA ou encore pour la contrôler.

## CHAPITRE 4 – VARIABILITÉ DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE

La mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) constitue un des rares moyens peu couteux et non invasifs d'apprécier l'activité du SNA. Elle est un reflet de sa capacité à s'adapter à l'environnement (Thayer & Sternberg, 2006). De plus en plus, on utilise cette méthode en clinique puisqu'on sait qu'elle est un bon indice de la santé cardiovasculaire (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). En effet, plus la VFC est grande, plus la santé cardiovasculaire est bonne (De Jong & Randall, 2005). Les premières observations cliniques de ce phénomène ont été faites en 1965 lorsqu'il a été constaté que la détresse fœtale était précédée d'une altération des intervalles entre les battements cardiaques avant même de voir un changement par rapport à la fréquence cardiaque elle-même (Hon, 1965). La fréquence cardiaque n'est pas stable, elle varie continuellement en fonction de la demande physique et mentale. La VFC est l'analyse des variations de temps entre chaque battement (figure 3). Une grande VFC indique que le cœur peut plus facilement s'adapter et répondre aux différentes situations. À l'inverse, lorsque les intervalles entre les battements présentent peu de variations, l'individu serait plus à risque de maladies cardiovasculaires (De Jong & Randall, 2005).



**Figure 3:** Intervalle RR normal retrouvé sur un électrocardiogramme

Tirée de : *Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology*, 1996

#### 4.1 Mesure de la VFC

On mesure la VFC généralement par électrocardiogramme (ÉCG) à l'aide de deux domaines d'analyse : le domaine temps et le domaine fréquence. Les méthodes les plus simples et les plus utilisées sont les mesures dans le domaine temps, c'est-à-dire les variations de la durée entre deux battements cardiaques (intervalles RR ou NN). Les paramètres les plus utilisés sont l'écart-type des intervalles entre les battements (SDNN), la racine carrée de la moyenne de la somme des différences entre les intervalles (rMSSD) et le pourcentage de périodes NN adjacentes dont la différence est supérieure à 50 ms (pNN50). D'un point de vue clinique, SDNN correspond à un indice

de la VFC globale. L'analyse dans le domaine fréquence permet de quantifier la puissance des fluctuations. On regroupe les très basses fréquences (VLF= 0.003-0.04 Hz), les basses fréquences (LF=0,04-0,15 Hz) et les hautes fréquences (HF= 0,15-0,4 Hz). Les composantes VLF et LF sont associées à la modulation de l'activité cardiaque par le SNAS et le SNAP. Les HF représentent l'activité du SNAP. Il est aussi possible de mesurer le ratio des basses fréquences sur les hautes fréquences (LF/HF). Il permet d'évaluer la relation entre le SNAS et le SNAP c'est-à-dire la balance sympathovagale (Gamelin, Berthoin et al. 2009).

#### **4.2 VFC et santé**

La VFC est influencée par plusieurs conditions physiologiques et pathologiques telles que l'âge, la condition physique, la respiration, les neuropathies diabétiques et l'insuffisance cardiaque. Le vieillissement est associé à un déclin de tous les paramètres de la VFC et les femmes tendent à avoir des valeurs plus faibles, mais cet écart entre les sexes semble disparaître après 50 ans (Umetani, Singer, McCraty, & Atkinson, 1998). De plus, une faible VFC est associée à plusieurs processus pathologiques (Camm et al., 1996). Il semble qu'une histoire familiale d'infarctus du myocarde, une pression artérielle élevée, la présence de diabète et l'usage de tabac soient associés à des valeurs de VFC plus basses. La fréquence cardiaque de repos et l'âge, qui sont inversement proportionnels, seraient les meilleurs déterminants de la VFC (Tsuji et al., 1996).

L'insuffisance cardiaque entraînerait des changements dans le contrôle du SNA, notamment l'altération de la VFC. Fondamentalement, cette pathologie est associée à

une augmentation de l'activité sympathique pour une longue période ainsi qu'à une diminution du contrôle parasympathique (Sanchez-Lazaro et al., 2011). Plusieurs études ont démontré que les patients atteints d'insuffisance cardiaque avaient une VFC plus faible que les sujets sains (Brouwer et al., 1996; Musialik-Lydka, Sredniawa, & Pasik, 2003; Yoshikawa et al., 1999). L'activité élevée du SNAS, la dysfonction neuroendocrine, le niveau de cytokines élevé et la réduction du tonus vagal contribueraient à cette baisse de la VFC (De Jong & Randall, 2005). L'analyse dans le domaine temps et le domaine fréquence de paramètres de la VFC semble être un bon prédicteur de mortalité et d'événements cardiaques (De Jong & Randall, 2005).

Lors d'une étude longitudinale, des auteurs américains ont voulu savoir si le dysfonctionnement du SNAS était précurseur de l'insuffisance cardiaque ou une conséquence de celui-ci. Plus de 4000 participants adultes de 45 à 84 ans de différentes ethnies ne présentant aucun signe ou symptôme cardiovasculaire ont été testés pour les paramètres rMSSD et SDNN de la VFC. En général, les participants dans le tertile le plus faible de la VFC étaient plus âgés et plus souvent des hommes. Les facteurs liés aux problèmes métaboliques (faible taux de HDL, triglycérides élevés, glycémie à jeun élevée et diabète) étaient aussi plus présents dans ce groupe. Après un suivi de 7,6 ans, 95 participants ont développé de l'insuffisance cardiaque et 98 ont subi un épisode d'infarctus du myocarde. La plupart de ceux-ci étaient des hommes, plus âgés, obèses, fumeurs, hypertendus et diabétiques; des facteurs qui étaient plus présents dans le plus faible tertile de la VFC. Les auteurs ont pu conclure qu'il existait une relation inverse entre les paramètres rMSSD et SDNN et l'incidence d'insuffisance cardiaque. Les

dysfonctions du SNAS seraient donc un facteur de risque de la maladie cardiovasculaire et métabolique (Shah et al., 2013).

#### **4.3 Effet de l'entraînement physique sur la VFC**

De nombreux auteurs ont tenté de démontrer des différences au niveau de la VFC de sujets sédentaires et physiquement actifs. La majorité de ces études a conclu que les sujets pratiquant une activité physique régulière à dominance aérobie possédaient une VFC plus élevée (Davy, DeSouza, Jones, & Seals, 1998; Triposkiadis et al., 2002; Yataco, Fleisher, & Katzel, 1997).

Dans l'étude, "*Heart rate variability and aerobic fitness*", De Meersman a voulu démontrer l'influence de l'exercice aérobio chronique sur la VFC (De Meersman, 1993). Cette recherche a comparé la VFC de 72 hommes coureurs de 15 à 80 ans avec 72 participants contrôles sédentaires de même âge et de même poids. Les résultats ont permis de démontrer que le groupe de participants actifs avait une  $\text{VO}_{2\text{max}}$  significativement plus élevée que le groupe contrôle à presque tous les âges. Ils ont aussi constaté une différence significative de la VFC entre les deux groupes. Les sujets physiquement actifs présentaient des valeurs de VFC plus grandes dans les catégories d'âges 26-35 ans, 46-55 ans et 56-65 ans. Cette étude suggère donc un effet bénéfique de l'activité aérobio à long terme qui permettrait de limiter la diminution de la VFC associée avec le vieillissement. Cet effet est également corrélé positivement avec un effet cardioprotecteur.

#### 4.4 VFC chez l'enfant

Bien qu'elles soient moins nombreuses, il existe quelques études analysant la VFC chez l'enfant. Des données normatives ont très récemment été publiées au Québec sur un échantillon de 1036 enfants âgés de 9 à 11 ans pour les différents paramètres du domaine temps et fréquence de la VFC (Jarrin et al., 2015) (tableau 3). Dans cette même étude, les auteurs ont constaté que le sexe féminin, une PAS et une PAD élevées, une fréquence cardiaque élevée, l'avancement de la puberté et un court temps de sommeil étaient associés à une plus faible VFC.

**Tableau 3:** Données normatives de percentile de la VFC ajustées pour l'âge et la fréquence cardiaque par sexe chez l'enfant

|                         | Boys    |         |         |         |         | Girls   |         |         |         |         |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                         | 5th     | 25th    | 50th    | 85th    | 95th    | 5th     | 25th    | 50th    | 85th    | 95th    |
| <i>Time-domain</i>      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| SDNN (ms)               | 71.1    | 83.9    | 95.5    | 111.7   | 124.9   | 76.4    | 89.9    | 100.3   | 117.0   | 128.5   |
| SDANN (ms)              | 15.1    | 20.0    | 24.5    | 31.1    | 36.3    | 17.8    | 23.3    | 27.2    | 33.9    | 38.8    |
| SDNNi (ms)              | 84.0    | 95.8    | 106.7   | 121.6   | 134.4   | 89.0    | 101.3   | 110.8   | 126.3   | 136.5   |
| rMSSD (ms)              | 41.2    | 49.0    | 56.0    | 65.9    | 73.9    | 45.4    | 53.6    | 59.9    | 70.1    | 77.1    |
| pNN50 (%)               | 31.7    | 38.0    | 43.7    | 51.8    | 58.3    | 34.9    | 41.6    | 46.7    | 55.0    | 60.7    |
| <i>Frequency-domain</i> |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| VLF ( $\text{ms}^2$ )   | 2,936.8 | 3,362.0 | 3,756.2 | 4,293.0 | 4,749.6 | 3,131.4 | 3,573.7 | 3,914.1 | 4,474.7 | 4,843.7 |
| LF ( $\text{ms}^2$ )    | 3,882.1 | 4,316.6 | 4,713.3 | 5,270.7 | 5,765.8 | 4,079.9 | 4,541.8 | 4,892.4 | 5,448.8 | 5,801.6 |
| HF ( $\text{ms}^2$ )    | 1,668.4 | 1,946.6 | 2,202.3 | 2,559.9 | 2,857.2 | 1,797.2 | 2,094.6 | 2,322.4 | 2,695.9 | 2,945.9 |
| lnVLF                   | 2.6     | 2.9     | 3.2     | 3.5     | 3.9     | 2.7     | 3.0     | 3.3     | 3.6     | 3.9     |
| lnLF                    | 3.4     | 3.7     | 3.9     | 4.3     | 4.7     | 3.5     | 3.8     | 4.0     | 4.4     | 4.7     |
| lnHF                    | 2.9     | 3.3     | 3.7     | 4.2     | 4.6     | 3.1     | 3.5     | 3.8     | 4.3     | 4.6     |
| LF:HF ratio             | 0.0     | 0.1     | 0.2     | 0.4     | 0.5     | 0.0     | 0.1     | 0.2     | 0.4     | 0.6     |

Ms milliseconds. ln log transformed value

Tiré de : Jarrin et al. (2015) *Short-term heart rate variability in a population-based sample of 10-year-old children*

Tout comme chez l'adulte, l'analyse de la VFC en pédiatrie semble être un bon prédicteur de santé. Des variations ont été notées chez des enfants présentant des pathologies cardiovasculaires (Gordon et al., 1988) et non cardiovasculaires (Faulkner, Hathaway, & Tolley, 2003; Finley & Nugent, 1995). Il a été démontré par des auteurs chinois que les enfants avec une pression artérielle systolique élevée présentaient des valeurs de VFC significativement plus faibles que ceux avec une pression artérielle normale (Gui-Ling et al., 2013). Les chercheurs soumettent l'hypothèse qu'une faible VFC chez l'enfant serait un précurseur de maladies cardiovasculaires à l'âge adulte. Une étude américaine a pour sa part analysé la VFC d'enfants obèses (Gutin, Barbeau, Litaker, Ferguson, & Owens, 2000). Les enfants avec une VFC (rMSSD) plus faible présentaient des résultats plus élevés de graisse abdominale, de pression artérielle systolique et de fréquence cardiaque au repos. Les auteurs ont aussi constaté que l'ajout de périodes d'activité physique permettait d'augmenter la VFC de ces enfants. Une autre étude a voulu observer les effets d'un entraînement physique sur la VFC d'enfants d'âge primaire (Nagai, Hamada, Kimura, & Moritani, 2004). Après 12 mois d'intervention, 20 minutes à chaque jour scolaire à intensité modérée, les participants ayant une plus faible VFC de départ présentaient une augmentation significative de celle-ci. De plus, Chen et coll. ont démontré que les enfants en surpoids ou en obésité avaient des valeurs de VFC plus faibles lesquelles étaient positivement corrélées à leur niveau d'activité physique (Chen, Chiu, Lee, Sheen, & Jeng, 2012). Quelques études ont aussi comparé la VFC d'enfants en santé avec celle d'enfants atteints de maladies cardiovasculaires. Dans la majorité des cas, il est conclu que les enfants en santé présentent une VFC plus élevée

(Aletti et al., 2012; Han, Ho, Yip, & Chan, 2000; Werner, Piorecka-Makula, & Bobkowski, 2013). À la lumière de ces observations, il semble être bien démontré que l'analyse de la VFC soit un bon indicateur de santé chez l'enfant comme chez l'adulte et que l'entraînement aurait un effet positif sur celle-ci à long terme.

## CHAPITRE 5 – STRESS MENTAL

Le présent travail de maîtrise s'intéresse à analyser la réactivité cardiovasculaire au travail mental. La méthodologie ne vise pas à créer un évènement stressant, mais bien à représenter le mieux possible le travail cognitif effectué dans un contexte réel. Dans le cas d'enfants, le travail mental peut représenter une tâche scolaire nécessitant un effort cognitif. Toutefois, la littérature utilisant le même type de méthodologie est peu nombreuse et celle s'y rapprochant le plus fait généralement référence à la notion de stress mental (Anderson, Sinkey, & Mark, 1991; Carroll, Phillips, Der, Hunt, & Benzeval, 2011; Cinciripini, 1986b; Costin, Costin, Cohen, Eisenach, & Marchlinski, 2013; Esler et al., 2008). Chez l'enfant, le stress mental pourrait être représenté par un examen scolaire. Bien que les deux expressions soient semblables, la notion de travail mental représente mieux le quotidien de l'enfant. Très rares sont les auteurs utilisant le terme « travail mental ». C'est pour cette raison que la littérature sur le stress mental sera présentée dans ce chapitre.

### 5.1 Stress mental et réactivité cardiovasculaire

À ce jour, plusieurs auteurs se sont intéressés au stress mental et à la réponse physiologique qu'il entraîne. La réactivité cardiovasculaire fait référence aux différences de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle ou autres mesures de fonctions cardiovasculaires observées entre des périodes de repos et un événement externe stressant (Cinciripini, 1986a). Elle peut être conceptualisée comme une variable

physiologique quantitative qui varie d'un individu à l'autre. Pour réaliser les études sur le sujet, les chercheurs ont utilisé différents moyens pour créer un évènement de stress mental comme des calculs mathématiques mentaux, le test de Stroop (*Stroop color and work test*), les jeux vidéo ou encore une entrevue orale. Le stress pouvait être augmenté par une pression de répondre rapidement, une menace de conséquence négative ou une compétition (Cinciripini, 1986a). Ces études ont mesuré des paramètres tels que la fréquence cardiaque, la pression artérielle, les changements du segment ST sur l'électrocardiogramme (ECG), le débit cardiaque, la résistance périphérique totale, le temps d'éjection du ventricule gauche, la VFC ou encore des fonctions neuroendocrines comme le taux de catécholamines et de cortisol sanguin (Cinciripini, 1986a).

La majorité des études portant sur la réactivité cardiovasculaire au stress mental a mesuré un changement de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle. La pression artérielle systolique serait significativement plus élevée lors d'un stress mental que par rapport à une condition de repos (Callister, Suwarno, & Seals, 1992; Forsman & Lindblad, 1983; Hjortskov et al., 2004). Les chercheurs ayant mesuré la VFC constatent que cette dernière aurait tendance à diminuer avec le stress. Ceci suggère un débalancement du SNA par une dominance de l'activité sympathique (Hjortskov et al., 2004). L'équipe de Durocher a démontré qu'un stress mental de seulement 5 minutes était suffisant pour entraîner une augmentation de la pression artérielle et de l'activité nerveuse sympathique musculaire (MSNA) (Durocher, Klein, & Carter, 2011).

Étant donné la grande utilisation de l'ordinateur dans le monde des travailleurs, une étude réalisée en 2004 a voulu tester la pression artérielle et la VFC lors d'un stress mental à l'ordinateur (Hjortskov et al., 2004). Douze femmes, utilisatrices d'ordinateurs, ont participé à l'étude. Elles ont dû réaliser un travail mental stressant à l'ordinateur. La pression artérielle et l'ÉCG étaient enregistrés continuellement durant l'expérience. Comparativement à la session de repos, l'analyse de la VFC lors du stress mental a démontré une réduction des hautes fréquences et une augmentation du ratio LF/HF. Aucun changement n'a été observé par rapport aux basses fréquences. Le stress a aussi induit une augmentation de la pression artérielle qui persistait lors d'une période de repos de huit minutes suivant la tâche.

Une méthodologie semblable a été utilisée dans une étude de 2009 où des étudiants en santé ont été soumis à des tests d'ÉCG de repos lors d'une période d'examens universitaire comparativement à une période de vacances (Tharion, Parthasarathy, & Neelakantan, 2009). Les résultats démontrent que lors de la période de stress, la VFC totale était significativement plus faible et la pression artérielle ainsi que la fréquence cardiaque plus élevées. Aucune différence n'a été observée pour les LF, les HF ou le ratio LF/HF.

Les quelques études utilisant une méthodologie avec travail mental ont elles aussi démontré des variations physiologiques. Les auteurs ont enregistré une augmentation significative de la pression artérielle systolique et diastolique ainsi que de la fréquence cardiaque lors d'une condition de travail mental (lecture et écriture) chez

des adultes en bonne santé (Chaput, Drapeau, Poirier, Teasdale, & Tremblay, 2008; Chaput & Tremblay, 2007). Les études de Pérusse-Lachance et de Chaput soulignent, en plus des changements de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque, une variation au niveau de la VFC (Pérusse-Lachance, 2012; Chaput et al., 2008). Le ratio LF/HF semble plus élevé lors du travail mental que lors d'une période de repos suggérant une dominance de l'activité sympathique. L'équipe de Pérusse-Lachance et coll. (2012) note aussi une diminution de la VFC globale (SDNN) de 19% ainsi qu'une activité parasympathique significativement plus faible (diminution des paramètres rMSSD, PNN50 et HF). Les autres paramètres de la VFC ne semblent pas affectés par le travail mental.

## 5.2 Réactivité cardiovasculaire et santé

Certains auteurs ont même fait une association entre la réactivité cardiovasculaire des sujets et leur risque de mortalité cardiovasculaire. Les gens qui réagissent plus fortement au stress mental semblent plus à risque de mourir d'une maladie cardiovasculaire (Carroll, Ginty, Der, et al., 2012; Carroll, Ginty, Painter, et al., 2012; Carroll et al., 2011; Goldberg et al., 1996). Après un suivi de 23 ans sur 7746 sujets, Jouven (2009) et son équipe ont démontré que les individus qui présentaient une plus grande élévation de la fréquence cardiaque lors d'un stress mental voyaient leur risque de mort cardiaque subite augmenter de plus de deux fois à long terme (Jouven et al., 2009). Les auteurs soulignent que l'évaluation de la fréquence cardiaque au stress mental serait un bon outil de stratification du risque cardiovasculaire.

L'augmentation de l'activité nerveuse sympathique exagérée lors d'un stress mental serait aussi précurseur d'hypertension artérielle future (Bedi, Varshney, & Babbar, 2000). En fait, la pression artérielle mesurée lors du stress mental serait un meilleur prédicteur d'hypertension artérielle que celle prise au repos. En ce sens, Carroll et coll. ont démontré que la réaction de la PAS lors d'un stress mental était positivement corrélée avec sa valeur de repos après un suivi de cinq ans (Carroll, Ring, Hunt, Ford, & Macintyre, 2003). Un suivi de 18 ans a aussi révélé cette même relation chez 99 hommes en santé, indépendamment du niveau initial de la pression artérielle (Flaa, Eide, Kjeldsen, & Rostrup, 2008). Il semblerait que les femmes aient une réactivité plus élevée au stress mental en raison d'une diminution des fonctions endothéliales plus prononcée associée à une perception du stress plus élevée. Ceci les rendrait plus à risque d'événements cardiovasculaires (Cinciripini, 1986a; Martin et al., 2008). De plus, les individus préhypertendus présenteraient une augmentation plus marquée de l'activité nerveuse sympathique et de la pression artérielle moyenne lors d'un événement stressant (Matsukawa et al., 1991; Schwartz, Durocher, & Carter, 2011). Il a aussi été bien documenté que les gens atteints d'une pathologie cardiovasculaire ou présentant des facteurs de risque tel qu'une histoire familiale d'HTA réagissent plus fortement à un stress mental (Deter et al., 2007; Falkner, Onesti, Angelakos, Fernandes, & Langman, 1979). Par ailleurs, une réaction exagérée de la pression artérielle pourrait aussi contribuer au développement de l'athérosclérose (Jennings et al., 2004).

Bien qu'elle soit moins documentée, cette relation semble aussi être présente chez l'enfant. Une augmentation de la réactivité cardiovasculaire plus prononcée au

stress mental (élévation de la fréquence cardiaque marquée) serait précurseur d'une pression artérielle élevée (von Eiff et al., 1985). Cette même étude ainsi que celle de Falkner en 1991 ont aussi démontré que les enfants avec un historique d'HTA chez les parents présentaient une plus grande augmentation de la PAS lors du stress mental (Falkner, 1991).

### **5.3 Stress mental et activité physique**

À ce jour, quelques études se sont intéressées à l'impact de l'activité physique sur la réactivité cardiovasculaire associée au stress mental. Il semble qu'il existe un effet chronique de l'activité physique, mais aussi un effet aigu. Une étude de 1990 a voulu comparer la réponse physiologique au stress mental suite à un entraînement aérobie et un entraînement musculaire (Blumenthal et al., 1990). Trente-sept hommes en santé ont été répartis en deux groupes (aérobie et musculation) et ont participé à un entraînement de 12 semaines. Ils ont par la suite été soumis à un test de calcul mental. Les participants du groupe aérobie ont démontré une augmentation significativement plus faible de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ainsi que des taux plus bas d'adrénaline que le groupe musculation durant le stress mental. Ces résultats suggèrent que l'entraînement de type aérobie réduit la réactivité cardiovasculaire au stress mental.

Le même type d'étude a été réalisé avec des adolescents (15 ans). L'objectif était d'observer si un programme d'entraînement aérobie d'intensité moyenne et d'une durée de cinq semaines pouvait réduire la réponse cardiovasculaire au stress mental d'adolescents en bonne santé cardiovasculaire (Costin et al., 2013). Lors de la pré-

intervention, l'augmentation de la fréquence cardiaque était de  $20 \pm 9$  bpm lors d'un stress mental (calculs mathématiques). Lors de la post-intervention, l'augmentation n'était que de  $9 \pm 15$  bpm. Encore une fois, les auteurs suggèrent que l'activité physique pratiquée sur une base régulière aiderait à prévenir une trop grande réactivité cardiovasculaire au stress mental.

L'effet protecteur de l'activité physique aigu sur la réactivité cardiovasculaire au stress mental a été démontré par quelques études (Brownley et al., 2003; Neves et al., 2012; Roemmich, Lambiase, Salvy, & Horvath, 2009; Rooks, McCully, & Dishman, 2011). Dans tous les cas, l'activité physique était de type aérobie, mais le volume (entre 10 et 60 minutes) ou l'intensité (moyenne à élevée de type continu ou en intervalles) variaient. Rooks (2011) suggère que l'effort physique améliore la fonction endothéiale ce qui permettrait de contrer à court terme l'effet du stress mental (Rooks et al., 2011). L'effet sur la PAD semble assez bien démontré par la plupart des auteurs, mais celui sur la PAS varie en fonction des études (Boone, Probst, Rogers, & Berger, 1993; Hobson & Rejeski, 1993; Probst, Bulbulian, & Knapp, 1997; West, Brownley, & Light, 1998). Dans une méta-analyse regroupant quinze études randomisées, dix d'entre elles ont démontré une réduction significative de la réponse de la pression artérielle lors d'un stress mental post-exercice (Hamer, Taylor, & Steptoe, 2006). Les auteurs soulignent que l'effet est plus prononcé avec une période d'activité physique plus longue et le minimum semble être 30 minutes à 50% de la consommation maximale d'oxygène ( $\text{VO}_2\text{max}$ ). À la lumière de ces observations, l'activité physique semble être une

solution intéressante afin de limiter l'augmentation de la réactivité cardiovasculaire au stress mental et possiblement lors d'un travail mental.

## CHAPITRE 6- CONTEXTE DE L'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE

À la lumière des résultats présentés dans cette revue de la littérature, quelques études se sont intéressées aux effets du travail mental sur la réactivité cardiovaskulaire, mais aucune donnée n'existe actuellement chez l'enfant. Étant donné la grande place qu'occupe le travail cognitif dans le quotidien de l'enfant et son effet potentiellement néfaste sur la santé cardiovaskulaire à long terme, ce projet de recherche prend tout son sens.

- 1- L'objectif principal de ce travail de recherche consiste à générer des données sur les effets du travail mental sur la fréquence cardiaque et la pression artérielle de l'enfant, d'évaluer les différences potentielles entre les sexes et d'établir le rôle de l'activité physique comme facteur de prévention. Ce sujet sera abordé dans l'article « *Physical activity counteracts the influence of mental work on blood pressure in healthy children* » présenté au chapitre 7 de ce mémoire.
- 2- Les objectifs secondaires sont d'analyser les variations de la VFC lors du travail mental chez l'enfant ainsi que d'évaluer l'effet du surpoids ou de l'obésité. Cette section sera présentée au chapitre 8.

### 6.1 Hypothèses

- 1- Nous croyons que, comme chez l'adulte, une augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle sera observée lors du travail mental. Nous croyons aussi que les filles réagiront plus fortement à cette condition. Comme

l'activité physique procure l'effet contraire, c'est-à-dire un effet hypotenseur, nous croyons que la réactivité cardiovasculaire sera moins élevée si une période d'éducation physique précède la tâche de travail mental.

2- Quant à la VFC, nous pensons que tel que rapporté chez l'adulte, elle sera diminuée lors du travail mental chez l'enfant. Pour les sujets en surpoids ou en obésité, nous croyons que leurs valeurs de repos seront altérées à la hausse et que les effets du travail mental sur la réactivité cardiovasculaire seront plus prononcés chez ceux-ci.

## 6.2 Méthodologie

Le devis expérimental est un modèle chassé-croisé randomisé. Pour réaliser ce projet, 39 enfants âgés de 10 à 12 ans ont été testés. Ceux-ci ont été recrutés dans les classes de quatrième, cinquième et sixième années de trois écoles primaires de la ville de Trois-Rivières. Afin de pouvoir participer à l'étude, les sujets devaient être exempts de troubles cardiovasculaires, de troubles d'anxiété, de troubles neuro-musculosquelettiques pouvant affecter la pratique d'activité physique, ne pas avoir de parents atteints de troubles cardiovasculaires et ne pas consommer de médication pouvant affecter la réponse cardiovasculaire. Parmi l'échantillon, un participant a dû être retiré de l'étude pour cause de poids insuffisant ( $n$  final=38). Tous les participants et leurs parents ont donné leur consentement écrit à participer à l'étude qui a reçu l'approbation du Comité d'Éthique de la Recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières (numéro d'approbation : CER-14-201-08-02.01). Au chapitre 7, qui présente

l'article, seules les données des 25 participants (14 garçons et 11 filles) de poids santé sont utilisées.

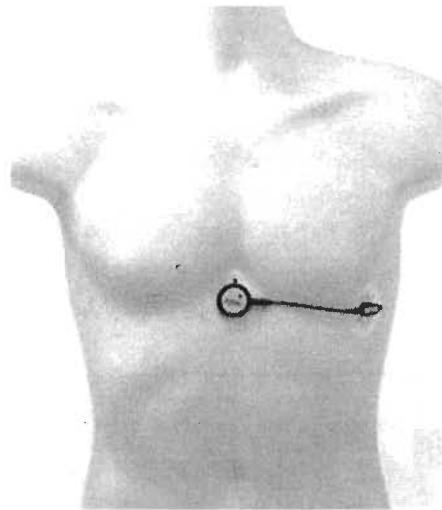
Tous les tests ont été réalisés à l'école que les enfants fréquentaient, entre janvier et juin 2014, pendant les périodes scolaires régulières afin de représenter le mieux possible leur réalité quotidienne. Chaque sujet a été testé dans deux situations différentes. Ces deux expérimentations se déroulaient toujours au même moment de la journée à une semaine d'intervalle.

- 1- Condition de travail mental précédée de repos (R-TM)
- 2- Condition de travail mental précédée d'activité physique (AP-TM)

Chaque période (repos, travail mental et activité physique) était de 60 minutes (durée d'un cours régulier). Lors du repos, les participants étaient assis dans leur salle de classe en silence sous la supervision d'un membre de l'équipe de recherche et ne pouvaient faire aucune activité. Le travail mental consistait en une période de français régulière avec le professeur titulaire. Les enseignants avaient reçu l'instruction d'utiliser la majorité du temps pour du travail individuel et de minimiser l'enseignement magistral. La période d'activité physique était un cours d'éducation physique régulier avec le professeur d'éducation physique à dominance aérobie (exemple : soccer, volleyball, handball, etc.).

Afin de mesurer la fréquence cardiaque, la VFC et l'intensité de l'activité physique par accélérométrie, un appareil de type Actiheart© (Cambridge Neurotechnology, Cambridge, UK) a été utilisé. Il était installé avant la première période à l'aide de deux

électrodes au niveau du thorax (figure 4). Il ne gêne pas les mouvements en raison de sa petite taille. L'enregistrement de la fréquence cardiaque est fait avec la précision d'un ECG et la variabilité de la fréquence cardiaque est comparable à celle enregistrée avec un « Holter » (Kristiansen et al., 2011). Ces données ont donc été enregistrées tout au long des périodes. L'intensité de l'activité physique est mesurée en mouvements par minute (MPM). Les catégories d'intensité sédentaire, faible, moyenne et élevée sont décrites par moins de 100, 100 à 1500, 1500 à 65000 et plus de 6500 MPM respectivement (Puyau, Adolph, Vohra, Zakeri, & Butte, 2004). Au même moment que la pose de l'appareil, le poids et la taille des sujets ont été pris à l'aide d'une balance et d'un ruban à mesurer afin de déterminer l'IMC des participants. Dans les deux situations, la pression artérielle était mesurée à la fin de la période à l'aide d'un sphygmomanomètre (Heine, Allemagne) et d'un stéthoscope (Littmann, Canada). Ces mesures étaient prises sur le bras droit soutenu à la hauteur du cœur par l'évaluateur, les sujets étaient en position assise depuis le début de la période (60 minutes), dos appuyé et pieds au sol. Afin d'évaluer l'intensité de la demande cognitive lors du travail mental, les participants devaient remplir un questionnaire adapté du « NASA Task Load Index » par échelle visuelle analogue de 100 mm (NASA, 1886) (appendice A). Le questionnaire comportait trois questions et la moyenne de celles-ci était utilisée pour déterminer l'intensité de la demande cognitive de la tâche de travail mental.



**Figure 4:** Installation de l'appareil Actiheart©

### 6.3 Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel Microsoft Excel (version 2010) et la signification statistique a été fixée à une valeur de  $p<0,05$ . Des analyses descriptives ont été utilisées pour décrire l'échantillon. Des tests T de Student ont été utilisés pour déterminer s'il existait des différences entre les sexes (garçon vs. filles) et les classes d'IMC (normal vs. surpoids/obésité). Des analyses ANOVA bilatérales à mesures répétées ont été utilisées afin de comparer les variables dans les trois différentes conditions (repos, R-TM et AP-TM). Des tests « post hoc » HSD de Tukey ont permis de comparer les résultats.

# CHAPITRE 7 – PHYSICAL ACTIVITY COUNTERACTS THE INFLUENCE OF MENTAL WORK ON BLOOD PRESSURE IN HEALTHY CHILDREN

**Physical activity counteracts the influence of mental work on blood pressure in healthy children**

**Thalia Lapointe<sup>1</sup>** ([thalia.lapointe@uqtr.ca](mailto:thalia.lapointe@uqtr.ca))

**Patrice Brassard<sup>2,3</sup>** ([patrice.brassard@kin.ulaval.ca](mailto:patrice.brassard@kin.ulaval.ca))

**Ben Rattray<sup>4,5</sup>** ([Ben.Rattray@canberra.edu.au](mailto:Ben.Rattray@canberra.edu.au))

**Emilie Lachance<sup>1</sup>** ([emilie.lachance@uqtr.ca](mailto:emilie.lachance@uqtr.ca))

<sup>1</sup>Department of Physical Activity Sciences, University of Quebec at Trois-Rivieres  
3351, boul. Des Forges, Trois-Rivieres (Quebec), Canada, G9A 5H7

<sup>2</sup>Department of Kinesiology, Faculty of Medicine, Laval University  
2325, rue de l'Université, Quebec (Quebec), Canada, G1V 0A6

<sup>3</sup>Research center of the Institut universitaire de cardiologie et pneumologie de Québec  
2725, chemin Sainte-Foy, Quebec (Quebec), Canada, G1V 4G5

<sup>4</sup> Discipline of Sport and Exercise Science, Faculty of Health, University of Canberra, Canberra, Australia;

<sup>5</sup> Research Institute for Sport and Exercise, University of Canberra, Canberra, Australia

## **Corresponding author:**

Emilie Lachance, Ph.D.

Department of Physical Activity Sciences, University of Quebec at Trois-Rivieres  
Trois-Rivieres (Quebec), Canada, G9A 5H7

Phone: 819-376-5011 ext. 3786

[emilie.lachance@uqtr.ca](mailto:emilie.lachance@uqtr.ca)

Article pour soumission à *Physiology & behavior*

## **Abstract**

While mental work (MW) is known to increase heart rate (HR) and blood pressure (BP) in healthy adults, chronic exercise has the opposite effect. However, changes in HR and BP induced by MW and physical activity in children are not well described.

**PURPOSE:** To evaluate the effects of MW on HR and BP in children and whether prior acute physical activity influences those effects. **METHODS:** Twenty-five healthy children ( $11 \pm 1$  years) were evaluated during two experimental conditions using a randomized crossover design. HR and BP were measured during 1-) 60 min of MW (French class) preceded by a 60 min resting period (R-MW) and 2-) 60 min of MW preceded by a 60 min of physical education class (Ex-MW). The intensity of the cognitive demand related to the MW was evaluated with an adapted version of the NASA Task-Load Index for children (VAS-100 mm). **RESULTS:** R-MW increased systolic BP (R-MW vs. rest;  $99 \pm 8$  vs.  $94 \pm 7$  mmHg;  $p < 0.01$ ) and diastolic BP ( $65 \pm 5$  vs.  $60 \pm 5$  mmHg;  $p < 0.01$ ). Boys and girls had similar BP increases induced by MW (boys vs. girls; systolic BP:  $3 \pm 6$  vs.  $6 \pm 3$  mmHg;  $p=0.16$ , diastolic BP:  $5 \pm 4$  vs.  $3 \pm 4$  mmHg;  $p=0.32$ ). MW did not influence HR ( $p > 0.05$ ). Exercise prior MW abolished the elevation of BP induced by MW. **CONCLUSION:** These results suggest that MW increases BP in children but sex does not influence this response. However, a physical education class before MW can counteract the effects on BP.

**Keywords:** cardiovascular reactivity, blood pressure, mental work, physical activity

## 1. Introduction

Over the past century, the development of communication and technology resulted in a decrease in physical activity practice [1]. To the detriment of physical labor, mental work became the basis of performance and innovation in the context of globalization [2]. Mental work represents cognitive tasks that people do most of the day in a labor condition. Many investigators have demonstrated that office work, like arithmetic or computer tasks, is a stimulus that can alter cardiovascular responses [3-10]. Previously though, authors have typically described the effects of mental stress, an anxiety related stress, where participants experience time or pressure to complete the required tasks. However, literature about mental work without the stress component has not been really studied but it seems to have similar repercussions on cardiovascular responses in healthy adults by increasing heart rate and blood pressure [11, 12]. The hypothesis of physiological mechanism behind those effects is that autonomic cardiac functions are disturbed by an increase sympathetic nerve activity related to task difficulty [3, 4]. Clinically, an excessive increase in heart rate and blood pressure to mental stress is associated with long term cardiovascular disease such as hypertension and sudden cardiac death [13, 14]. However, changes in cardiovascular responses induced by mental work in children are not well described. With the major importance of academic performance in children, it appears important to focus on it, especially as we know that greater cardiovascular responses to mental stress in children is associated with future higher resting blood pressure and development of systemic hypertension [15, 16].

There is some evidence that acute exercise can reduce blood pressure response to stress, linked to a decrease in sympathetic drive [17, 18]. With its hypotensive effect [19, 20], physical activity could also be a good avenue in the short-term management of the response to mental work. This management would also compliment the longer term positive influences of physical activity, which in children, is associated with a reduction of cardiometabolic risk [21] and a long term cardioprotective effect into adulthood [22, 23].

Accordingly, the aims of this study were to evaluate the impact of mental work on heart rate and blood pressure in healthy children and whether prior acute physical activity influences those effects. We hypothesized that like in adults, mental work will induce an increase in cardiovascular reactivity and that a physical education class before it will counteract those effects.

## **2. Materials and methods**

### *2.1 Study population*

Twenty-five healthy normal weight children (14 boys and 11 girls), aged  $11 \pm 1$  years, participated in this study. Participants had no history of smoking, cardiovascular disease or anxiety disorder and were not taking any medication that could interfere with cardiovascular response. Their parents were also free of cardiovascular disease. Participants were of normal weight according to body mass index adjusted for age (Table 1). The participants were recruited in three different primary schools of Trois-

Rivieres, Quebec, Canada. Children and their parents were blinded to the main hypothesis of the study and were instructed that researchers would monitor heart rate and blood pressure for two hours at two different times during normal classes. All participants and their parents gave their written consent to participate in this study, which received approval from the local University ethics committee.

## *2.2 Study protocol*

All tests were performed between January and June 2014. The participants were tested in normal school classes across two experimental conditions a week apart using a randomized crossover design as illustrated in Fig. 1: 1-) 60-min of mental work preceded by 60-min resting period (R-MW) and 2-) 60-min of mental work preceded by 60-min of a physical education class (Ex-MW). The participants were measured two at a time and were tested at the same time of the day for both conditions. During the resting period, participants were instructed to sit quietly in silence on their school chair in an independent room together with the investigators of the study. Mental work consisted of a French class, the first language of participants, with their normal teacher and other students as well as the investigators of the study. French classes were mainly composed of personal work, including doing exercises in their school notebooks or writing text. The physical education class was an existing class scheduled into the school curriculum with a physical education teacher and other children present. The physical education classes consisted of participation in aerobic based sports (e.g. soccer, handball, volleyball, etc.).

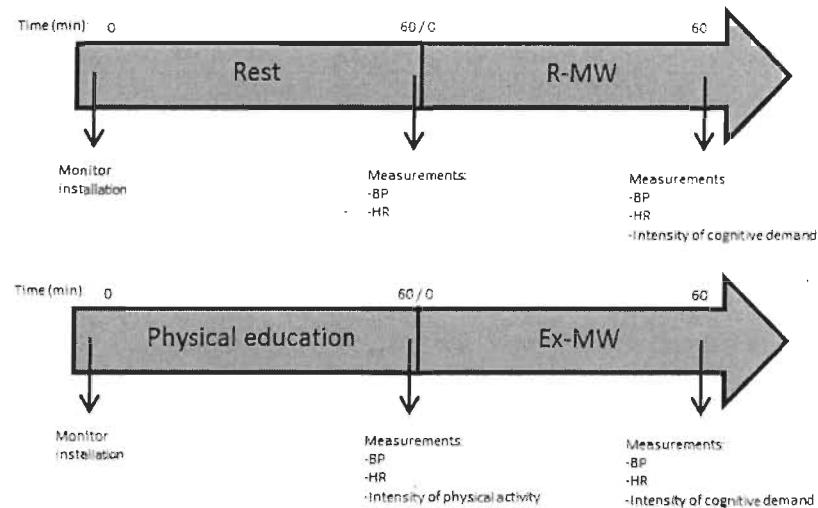


Fig. 1. Representation of the experimental protocol. Twenty five participants completed the two conditions using a randomized cross-over design. HR: heart rate. BP: blood pressure

### 2.3 Measurements

A qualified kinesiologist measured height and body mass at the beginning of the study. Body mass index was calculated as body mass (kg) divided by squared height ( $m^2$ ).

An Actiheart (Cambridge Neurotechnology, Cambridge, UK) monitor put on before resting and physical education periods was used to measure heart rate. The mean heart rate of the last 5 min of each 60-min period of the two conditions (rest, R-MW, physical education and Ex-MW) was recorded to eliminate the stress associated with the beginning of the study. The same monitor also recorded movement during the physical education class by accelerometry. The Actiheart recorded movements in counts per minute (CPM), which is proposed to reflect the mean intensity of physical activity

during physical education classes. The validity of CPMs have been assessed previously [24-26] and sedentary, light, moderate and vigorous categories of physical activity are described as less than 100, 100 to 1500, 1500 to 6500 and more than 6500 CPM respectively [27].

A kinesiologist measured blood pressure on the right arm, using a manual sphygmomanometer and stethoscope, during the last minute of each 60-min of the two experimental condition (rest, R-MW, physical education and Ex-MW).

The intensity of the cognitive demand was measured using an adapted version of the NASA Task-Load Index for children (VAS-100 mm), completed at the end of the two mental work period (R-MW and Ex-MW). A high perception of mental work demand represented a high score.

#### *2.4 Statistical analyses*

Student t-tests were used to compare baseline characteristics and heart rate and blood increases between boys and girls. A two-way analysis of variance, Sex  $\times$  Conditions, with repeated measures, was performed to compare heart rate and blood pressure after rest, MW-R and MW-Ex. Tukey's post hoc HDS tests were used to compare each condition. The statistical significance was set at  $\alpha = 0.05$  and data are expressed as mean $\pm$ SD.

### 3. Results

Table 1 shows the baseline characteristics of the 25 participants divided according to their sex. Age, height, body mass, body mass index and intensity of physical activity during physical education class were similar between boys and girls. Mean physical activity during the physical education class according to CPM would be described as moderate for the boys, and light for the girls, but the only tended to be a difference between the two (table 1).

Table 1: Baseline characteristics of the sample

| Variables                                   | All<br>(n=25) | Boys<br>(n=14) | Girls<br>(n=11) | P value |
|---|---------------|----------------|-----------------|---------|
| <b>Age (yrs)</b>                            | 11.3±0.6      | 11.1±0.5       | 11.6±0.6        | 0.08    |
| <b>Height (m)</b>                           | 1.5±0.1       | 1.5±0.1        | 1.5±0.1         | 0.07    |
| <b>Body weight (kg)</b>                     | 39.4±6.7      | 38.1±7.1       | 41.1±6.2        | 0.27    |
| <b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>               | 17.6±1.6      | 17.5±1.5       | 17.6±1.5        | 0.88    |
| <b>Intensity of physical activity (CPM)</b> | 1413.2 ±880.3 | 1679.4 ±1008.1 | 1074.4 ±560.7   | 0.07    |

Data are presented as mean ± SD; BMI: body mass index; CPM: counts per minute

#### 3.1 Intensity of the cognitive demand

The perceived intensity of the cognitive demand was similar between the two mental work periods (R-MW vs. Ex-MW:  $64.9 \pm 9.3$  vs.  $62.0 \pm 12.9$  mm;  $p=0.53$ ) and between sexes (boys vs. girls: R-MW:  $65.8 \pm 9.4$  vs.  $63.8 \pm 9.1$  mm;  $p=0.60$ , Ex-MW:  $63.4 \pm 13.2$  vs.  $60.3 \pm 12.3$ ;  $p=0.55$ ).

### 3.2 Impact of mental work on heart rate and blood pressure

In the whole sample, systolic and diastolic blood pressures were significantly higher at the end of R-MW than rest and Ex-MW (rest vs. R-MW vs. Ex-MW: systolic BP: 94±7 vs. 99±8 vs. 94±8 mmHg; p=0.001; diastolic BP: 60±5 vs. 65±5 vs. 62±8 mmHg; p=0.001). There was no significant difference between rest and Ex-MW blood pressure. Boys and girls had similar blood pressure increases induced by R-MW (Table 2). Due to methodological difficulties, seven participants' heart rate data could not be included in the analysis. While the ANOVA test found a significant effect for condition on heart rate (Table 2), post-hoc analysis did not reveal significant differences between any periods (Rest vs. R-MW, Rest vs. Ex-MW, R-MW vs. Ex-MW; all p>0.05). Over the three conditions, boys and girls had similar heart rates (p=0.94).

Table 2: Cardiovascular response

| n          | Rest |          | MW-R     |          | MW-Ex     |          | P values  |           |             |       |
|------------|------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------|-------|
|            | Boys | Girls    | Boys     | Girls    | Boys      | Girls    | Sex       | Condition | Interaction |       |
| HR (bpm)   | 18   | 85±7     | 84±9     | 88±11    | 84±9      | 89±9     | 93±11     | 0.941     | 0.011       | 0.244 |
| SBP (mmHg) | 25   | 94.3±6.2 | 94.6±8.9 | 97.7±7.6 | 100.7±7.9 | 92.3±5.3 | 96.7±10.1 | 0.261     | 0.001       | 0.502 |
| DBP (mmHg) | 25   | 59.7±4.3 | 60.5±5.3 | 64.6±4.4 | 64.6±4.6  | 60.0±3.8 | 64.9±7.2  | 0.059     | 0.001       | 0.090 |

Data are presented as mean ± SD; HR: heart rate; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure

#### 4. Discussion

In the present study, the impact of mental work on heart rate and blood pressure in children was investigated. The results suggest that a 60-min mental work condition (MW-R), consisting of a French class, can significantly increase systolic and diastolic blood pressure by ~5 mmHg in children compared to a rest condition. The other main finding of this study is that a period of physical education prior to the mental work counteracted the increase in blood pressure. In addition, this study does not support an influence of sex on cardiovascular responses induced by mental work.

The present study is the first to examine the effect of mental work on cardiovascular responses in children. By study design, we tried to represent as closely as possible children's everyday school life. This study forms an important part of understanding acute mental demands and the cardiovascular response in children, especially given that the related concept of mental stress is linked to long-term cardiovascular disease and mortality [14, 15, 28, 29] that is still the leading causes of mortality worldwide. Response to mental stress seems to be a marker of high blood pressure [10, 13, 15, 30, 31] and children who show exaggerated reactions are more likely to become hypertensive in adulthood [16]. In this sense, investigating children's mental work response has clinical relevance if the physiological mechanism behind helps us to find ways to counteract this cardiovascular response.

We are actually immersed within an environment designed to eliminate physical labor. Sedentary lifestyles have become predominant in children [32], motorized

transport for school travel has increased [33] and the Canadian Health Measures Survey reported that only 9% of boys and 4% of girls cumulate 60 minutes of moderate-to-vigorous physical activity on at least 6 days a week [34]. Moreover, substantial evidence has established a relationship between low physical activity and an increase of cardiovascular disease (CVD) [35-37]. CVD are frequently associated to adulthood, but researches showed that their development begins in early childhood [38-41]. In children, participation in physical activity is associated with a reduction of cardiometabolic risk [21] and a long term cardioprotective effect in adulthood [22, 23].

#### *4.1 Impact of mental work on heart rate and blood pressure*

While mental stress is known to elevate heart rate up to 20 beats per minute [16, 42], the present study has not shown any variation in heart rate. This difference may be due to the absence of stress factor in our methodology. Our findings on blood pressure are similar to those in adults during a comparable task of 45 min where diastolic blood pressure was 7% higher than in a control condition [11]. Chaput and al. also demonstrated an elevation in systolic and diastolic blood pressure during a reading and writing task [43]. This transient hypertensive effect has also been demonstrated in the case of a mental stress induced by computer work [6]. In a younger population, mental stress induced an increase in systolic and diastolic blood pressure and this response was significantly higher in adolescent who had at least one parent with essential hypertension [44]. Those observations could gain prominence with overweight and obese children who tend to be more likely to have elevated blood pressure [45].

Some authors associated this cardiovascular response to a sympathetic nerve activity increase related to task difficulty [3, 4] that can be associated with an attenuation in sympathetic baroreflex sensitivity [42] and an increase in systemic vascular resistance [29]. However, this hypothesis seems to be unclear in the literature while different patterns of mental stress response have been reported [5]. Few studies have investigated the effect of parasympathetic activity that could be reduced in response to stress [7, 11].

Mental work preceded by rest induced a similar increase in cardiovascular responses in boys and girls. However, the influence of sex on changes in cardiovascular responses induced by mental work remains equivocal in the literature. Sato and al. demonstrated that sympathetic nervous activity during mental stress was associated with the phase of the menstrual cycle [46]. The pre-puberty stage of our participants may explain the lack of difference between sexes. In this sense, Ordaz and Luna (2012) showed that girls tend to demonstrate greater stress response in adolescence [47]. Another hypothesis for sex difference is that men and women do not perceive the same workload for a similar mental task [48] but in our sample, the cognitive demand was comparable between groups as characterized by the adapted version of the NASA Task-Load Index.

#### *4.2 Impact of physical activity on changes in heart rate and blood pressure induced by mental work*

Results of this study demonstrated that a 60-min physical education class may counteract the increase in blood pressure induced by mental work. Neves and al. also demonstrated an attenuation in the blood pressure response to mental stress after acute

maximal exercise in healthy adults [49]. In this sense, Rooks and al. showed that acute exercise increases endothelial function despite the increase in vascular resistance induced by a stress [50]. There is some evidence showing that acute exercise can reduce the blood pressure response to stress, linked to a decrease in sympathetic drive [17, 18]. With its hypotensive effect [19], physical activity could be a good avenue in the management of mental work responses. Pescatello and al. demonstrated that blood pressure decrease can be an acute effect of an isolated exercise session or a chronic effect following exercise training [20]. Although the post-exercise hypotension is mainly explained by the decrease in peripheral resistance, the complex mechanism behind has not yet been determined [51].

Accordingly, physical education should be more prominent in schools and should be a part of children's daily activities. In this regard, Saunders and al. demonstrated that short and frequent breaks in sedentary time are associated with favorable cardiometabolic risk profile in children [52]. Despite availability of programs and infrastructure, the overall physical activity levels of Canadian children and youth remain low while sedentary behaviour levels remain high [53] and these suboptimal lifestyle habits increases cardiometabolic risk profile [54]. Future investigation is needed to clarify the impact of physical activity on cardiovascular responses induced by mental work in long term prevention of cardiovascular diseases.

#### *4.3 Limitations*

The present study has some limitations. First, the entire protocol was carried within a school context. Accordingly, it was not possible to control all variables (e.g. noises, intensity of physical activity, etc.) which could affect the generalization of our results. However, the study protocol represents real children's everyday life which is a strength of our study. Second, the sample size was modest and the statistical power may have been too low to detect significant differences in heart rate between conditions. Finally, there is a limitation to compare physiological values measured on two different days. Although we did not take resting measures prior to Mw-Ex, due to the same time period being used for physical activity, the randomised cross-over design, together with the use of participants acting as their own controls, lead us to believe that the results are a true reflection of the influence of prior physical activity on the cardiovascular responses to mental work.

In conclusion, these results support that mental work increases blood pressure in healthy children. However, a 60-min physical education class can counteract the increase in blood pressure induced by mental work.

## References

1. Shields, M., et al., *Fitness of Canadian adults: results from the 2007-2009 Canadian Health Measures Survey*. Health Rep, 2010. **21**(1): p. 21-35.
2. Mitter, S., *Globalization, technological changes and the search for a new paradigm for women's work*. Gend Technol Dev, 1999. **3**(1): p. 3-17.
3. Anderson, E.A., C.A. Sinkey, and A.L. Mark, *Mental stress increases sympathetic nerve activity during sustained baroreceptor stimulation in humans*. Hypertension, 1991. **17**(4 Suppl): p. III43-9.
4. Callister, R., N.O. Suwarno, and D.R. Seals, *Sympathetic activity is influenced by task difficulty and stress perception during mental challenge in humans*. J Physiol, 1992. **454**: p. 373-87.
5. Carter, J.R. and C.A. Ray, *Sympathetic neural responses to mental stress: responders, nonresponders and sex differences*. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2009. **296**(3): p. H847-53.
6. Hjortskov, N., et al., *The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work*. Eur J Appl Physiol, 2004. **92**(1-2): p. 84-9.
7. Taelman, J., et al., *Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work*. Eur J Appl Physiol, 2011. **111**(7): p. 1497-505.
8. Trueb, L., et al., *Nitric oxide mediates the blood pressure response to mental stress in humans*. Swiss Med Wkly, 2012. **142**: p. w13627.
9. Anderson, E.A., B.G. Wallin, and A.L. Mark, *Dissociation of sympathetic nerve activity in arm and leg muscle during mental stress*. Hypertension, 1987. **9**(6 Pt 2): p. III114-9.
10. Cinciripini, P.M., *Cognitive stress and cardiovascular reactivity. I. Relationship to hypertension*. Am Heart J, 1986. **112**(5): p. 1044-50.
11. Perusse-Lachance, E., et al., *Mental Work Influences Cardiovascular Responses Through a Reduction in Cardiac Parasympathetic Modulation in Healthy Adults*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2011. **43**(5): p. 747-747.
12. Chaput, J.P. and A. Tremblay, *Acute effects of knowledge-based work on feeding behavior and energy intake*. Physiol Behav, 2007. **90**(1): p. 66-72.
13. Falkner, B., *Blood pressure response to mental stress*. Am J Hypertens, 1991. **4**(11): p. 621S-623S.
14. Jouven, X., et al., *Excessive heart rate increase during mild mental stress in preparation for exercise predicts sudden death in the general population*. Eur Heart J, 2009. **30**(14): p. 1703-10.
15. Carroll, D., et al., *Blood pressure reactions to acute mental stress and future blood pressure status: data from the 12-year follow-up of the West of Scotland Study*. Psychosom Med, 2011. **73**(9): p. 737-42.
16. von Eiff, A.W., et al., *Heart rate reactivity under mental stress as a predictor of blood pressure development in children*. J Hypertens Suppl, 1985. **3**(4): p. S89-91.

17. Brownley, K.A., et al., *Sympathoadrenergic mechanisms in reduced hemodynamic stress responses after exercise*. Med Sci Sports Exerc. 2003. **35**(6): p. 978-86.
18. Hobson, M.L. and W.J. Rejeski, *Does the Dose of Acute Exercise Mediate Psychophysiological Responses to Mental Stress*. Journal of Sport & Exercise Psychology, 1993. **15**(1): p. 77-87.
19. Hamer, M., *The anti-hypertensive effects of exercise: integrating acute and chronic mechanisms*. Sports Med, 2006. **36**(2): p. 109-16.
20. Pescatello, L.S., et al., *American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension*. Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**(3): p. 533-53.
21. Chaput, J.P., et al., *Combined associations between moderate to vigorous physical activity and sedentary behaviour with cardiometabolic risk factors in children*. Appl Physiol Nutr Metab, 2013. **38**(5): p. 477-83.
22. Palve, K.S., et al., *Association of physical activity in childhood and early adulthood with carotid artery elasticity 21 years later: the cardiovascular risk in Young Finns Study*. J Am Heart Assoc, 2014. **3**(2): p. e000594.
23. Eisenmann, J.C., *Physical activity and cardiovascular disease risk factors in children and adolescents: an overview*. Can J Cardiol, 2004. **20**(3): p. 295-301.
24. Brage, S., et al., *Reliability and validity of the combined heart rate and movement sensor Actiheart*. European Journal of Clinical Nutrition. 2005. **59**(4): p. 561-570.
25. Butte, N.F., et al., *Validation of cross-sectional time series and multivariate adaptive regression splines models for the prediction of energy expenditure in children and adolescents using doubly labeled water*. J Nutr, 2010. **140**(8): p. 1516-23.
26. Corder, K., et al., *Comparison of PAEE from combined and separate heart rate and movement models in children*. Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(10): p. 1761-7.
27. Puyau, M.R., et al., *Prediction of activity energy expenditure using accelerometers in children*. Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**(9): p. 1625-31.
28. Carroll, D., et al., *Increased blood pressure reactions to acute mental stress are associated with 16-year cardiovascular disease mortality*. Psychophysiology, 2012. **49**(10): p. 1444-8.
29. Goldberg, A.D., et al., *Ischemic, hemodynamic, and neurohormonal responses to mental and exercise stress. Experience from the Psychophysiological Investigations of Myocardial Ischemia Study (PIMI)*. Circulation, 1996. **94**(10): p. 2402-9.
30. Carroll, D., et al., *Blood pressure reactions to stress and the prediction of future blood pressure: effects of sex, age, and socioeconomic position*. Psychosom Med, 2003. **65**(6): p. 1058-64.
31. Flaa, A., et al., *Sympathoadrenal stress reactivity is a predictor of future blood pressure: an 18-year follow-up study*. Hypertension, 2008. **52**(2): p. 336-41.

32. Tremblay, M.S., et al., *Fitness of Canadian children and youth: results from the 2007-2009 Canadian Health Measures Survey*. Health Rep, 2010. **21**(1): p. 7-20.
33. Gray, C.E., et al., *Are we driving our kids to unhealthy habits? Results of the active healthy kids Canada 2013 report card on physical activity for children and youth*. Int J Environ Res Public Health, 2014. **11**(6): p. 6009-20.
34. Colley, R.C., et al., *Physical activity of Canadian children and youth: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey*. Health Rep, 2011. **22**(1): p. 15-23.
35. Powell, K.E., et al., *Physical activity and the incidence of coronary heart disease*. Annu Rev Public Health, 1987. **8**: p. 253-87.
36. Sofi, F., et al., *Physical activity during leisure time and primary prevention of coronary heart disease: an updated meta-analysis of cohort studies*. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil, 2008. **15**(3): p. 247-57.
37. Archer, E. and S.N. Blair, *Physical activity and the prevention of cardiovascular disease: from evolution to epidemiology*. Prog Cardiovasc Dis, 2011. **53**(6): p. 387-96.
38. Balagopal, P.B., et al., *Nontraditional risk factors and biomarkers for cardiovascular disease: mechanistic, research, and clinical considerations for youth: a scientific statement from the American Heart Association*. Circulation, 2011. **123**(23): p. 2749-69.
39. Freedman, D.S., et al., *The relation of overweight to cardiovascular risk factors among children and adolescents: the Bogalusa Heart Study*. Pediatrics, 1999. **103**(6 Pt 1): p. 1175-82.
40. Freedman, D.S., et al., *The relation of childhood BMI to adult adiposity: the Bogalusa Heart Study*. Pediatrics, 2005. **115**(1): p. 22-7.
41. Van Cleave, J., S.L. Gortmaker, and J.M. Perrin, *Dynamics of obesity and chronic health conditions among children and youth*. JAMA, 2010. **303**(7): p. 623-30.
42. Durocher, J.J., J.C. Klein, and J.R. Carter, *Attenuation of sympathetic baroreflex sensitivity during the onset of acute mental stress in humans*. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2011. **300**(5): p. H1788-93.
43. Chaput, J.P., et al., *Glycemic instability and spontaneous energy intake: association with knowledge-based work*. Psychosom Med, 2008. **70**(7): p. 797-804.
44. Falkner, B., et al., *Cardiovascular response to mental stress in normal adolescents with hypertensive parents. Hemodynamics and mental stress in adolescents*. Hypertension, 1979. **1**(1): p. 23-30.
45. Mazor-Aronovitch, K., et al., *Blood pressure in obese and overweight children and adolescents*. Isr Med Assoc J, 2014. **16**(3): p. 157-61.
46. Sato, N. and S. Miyake, *Cardiovascular reactivity to mental stress: relationship with menstrual cycle and gender*. J Physiol Anthropol Appl Human Sci, 2004. **23**(6): p. 215-23.

47. Ordaz, S. and B. Luna, *Sex differences in physiological reactivity to acute psychosocial stress in adolescence*. Psychoneuroendocrinology, 2012. **37**(8): p. 1135-57.
48. Dittmar, M.L., et al., *Sex differences in vigilance performance and perceived workload*. J Gen Psychol, 1993. **120**(3): p. 309-22.
49. Neves, F.J., et al., *Hemodynamic mechanisms of the attenuated blood pressure response to mental stress after a single bout of maximal dynamic exercise in healthy subjects*. Braz J Med Biol Res. 2012. **45**(7): p. 610-6.
50. Rooks, C.R., K.K. McCully, and R.K. Dishman, *Acute exercise improves endothelial function despite increasing vascular resistance during stress in smokers and nonsmokers*. Psychophysiology, 2011. **48**(9): p. 1299-308.
51. MacDonald, J.R., *Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypotension*. J Hum Hypertens, 2002. **16**(4): p. 225-36.
52. Saunders, T.J., et al., *Associations of sedentary behavior, sedentary bouts and breaks in sedentary time with cardiometabolic risk in children with a family history of obesity*. PLoS One, 2013. **8**(11): p. e79143.
53. Gray, C.E., et al., *Results from Canada's 2014 Report Card on Physical Activity for Children and Youth*. J Phys Act Health, 2014. **11 Suppl 1**: p. S26-32.
54. Saunders, T.J., J.P. Chaput, and M.S. Tremblay, *Sedentary behaviour as an emerging risk factor for cardiometabolic diseases in children and youth*. Can J Diabetes, 2014. **38**(1): p. 53-61.

## CHAPITRE 8 – RÉSULTATS SECONDAIRES

Comme l'article du chapitre 7 ne présentait que les effets du travail mental sur la fréquence cardiaque et la pression artérielle ainsi que l'influence d'une période d'éducation physique, ce présent chapitre traitera des résultats relatifs à la VFC et la comparaison entre les enfants en surpoids/obésité et normopondéraux.

### 8.1 Variabilité de la fréquence cardiaque et travail mental

Pour cette partie, seulement les données de 18 participants avec un IMC dans la catégorie santé ont été utilisées (les caractéristiques de l'échantillon sont présentées dans l'article du chapitre 7). Le tableau 4 présente les différentes variables en fonction des conditions expérimentales. L'analyse ANOVA démontre que le travail mental a entraîné une augmentation des paramètres SDNN et rMSSD ( $p<0,05$ ) comparativement à la période de repos. Dans le domaine fréquence de la VFC, on observe que le ratio LF/HF est plus faible chez les garçons ( $p<0,05$ ) et qu'il a eu tendance à diminuer au travail mental par un impact sur LF et sur HF ( $p<0,05$ ). De plus les garçons présentent une tendance à avoir des valeurs de HF plus élevées que les filles ( $p=0,07$ ).

**Tableau 4:** Variables de la VFC selon les différentes conditions

|             | Repos      |            | Travail mental |            | Pvalues |           |             |
|-------------|------------|------------|----------------|------------|---------|-----------|-------------|
|             | Garçons    | Filles     | Garçons        | Filles     | Sexe    | Condition | Interaction |
| SDNN (ms)   | 125.9±46.3 | 104.9±37.3 | 154.1±34.6     | 121.3±72.9 | 0.203   | 0.030*    | 0.539       |
| SDANN (ms)  | 51.6±23.5  | 31.2±16.7  | 39.5±17.0      | 34.7±36.7  | 0.231   | 0.373     | 0.116       |
| LF (ln)     | 7.9±0.5    | 7.8±0.5    | 8.5±0.5        | 7.9±1.0    | 0.187   | 0.030*    | 0.162       |
| HF (ln)     | 7.6±0.9    | 7.1±0.8    | 8.3±0.5        | 7.4±1.2    | 0.07    | 0.020*    | 0.284       |
| rmSSD (ms)  | 95.1±42.4  | 79.4±39.0  | 142.9±41.7     | 105.3±76.9 | 0.230   | 0.005*    | 0.354       |
| Ratio LF/HF | 1.55±0.60  | 2.21±1.15  | 1.20±0.20      | 1.83±0.91  | 0.042*  | 0.066     | 0.932       |

Moyenne ± écart-type, \* p<0,05

## 8.2 Comparaison des groupes d'IMC

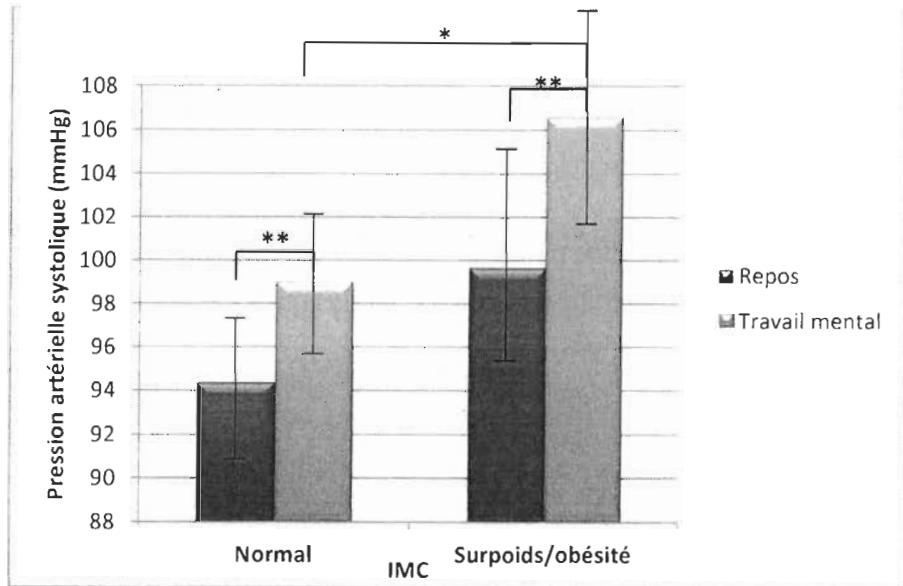
Pour cette section, les participants présentant un IMC dans la catégorie normale (n) (n=25) ont été comparés à ceux en surpoids ou en obésité (s) (n=13). La catégorie d'IMC a été ajustée en fonction de l'âge et du sexe des enfants (tableaux 1 et 2). Les caractéristiques de base des participants sont présentées dans le tableau 5. L'âge et la taille étaient similaires entre les groupes (s vs. n; âge : 11 ± 1 vs. 11 ± 1 ans; p=0,33, taille: 1,5 ± 0,1 vs. 1,5 ± 0,1 m; p=0,1). Tel qu'attendu, le poids (58,8 ± 16,0 vs. 39,4 ± 6,8 kg; p < 0,001) et l'IMC (25,3 ± 6,8 vs. 17,6 ± 1,5 kg/m<sup>2</sup>; p<0,001) étaient différents de façon statistiquement significative. L'intensité de la demande cognitive était comparable entre les groupes (62,1 ± 11,7 vs. 136 ± 10,9 mm; p=0,71). La pression artérielle lors du travail mental était plus élevée dans le groupe s que le groupe n (PAS : 107 ± 12 vs. 99 ± 8 mmHg; PAD : 69 ± 7 vs. 65 ± 5 mmHg; p<0,05). Cette dernière

était corrélée avec celle de repos dans les deux groupes (PAS s:  $r=0,93$ ;  $p<0,0001$ , n:  $r=0,77$ ;  $p<0,0001$ ; PAD s:  $r=0,87$ ;  $p < 0,0001$ , n:  $r=0,62$ ;  $p<0,001$ ). Bien que l'interaction ne soit pas statistiquement significative, on note une tendance clinique du groupe s à réagir plus fortement au stimulus de travail mental ( $p=0,1$ ). Ces résultats sont présentés dans les figures 5 et 6. Les valeurs de fréquence cardiaque et de VFC étaient similaires entre les groupes au repos et le travail mental ne les a pas influencées ( $p>0,05$ ).

**Tableau 5:** Caractéristiques de base des participants

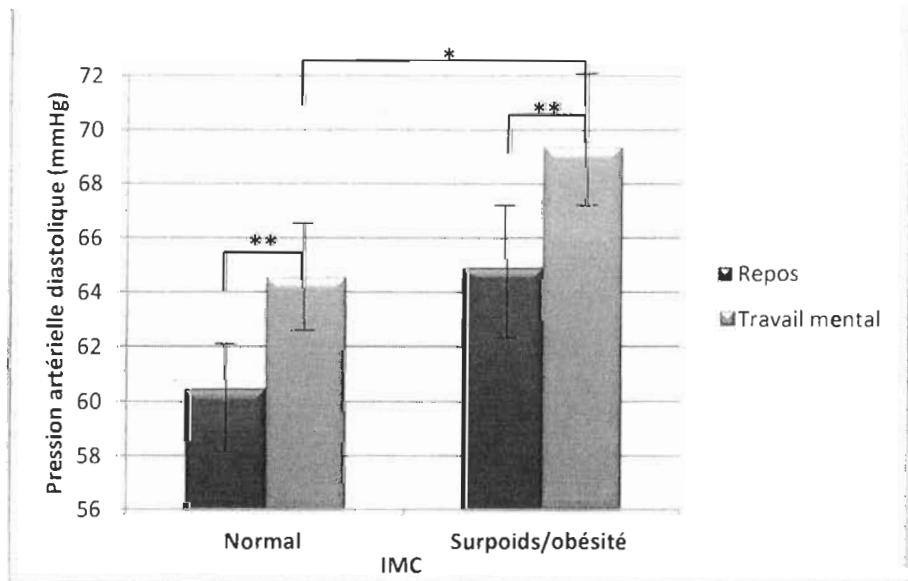
|                                | Groupe n (n=25) | Groupe s (n=13)   |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|
| Âge (années)                   | $11 \pm 1$      | $11 \pm 1$        |
| Taille (m)                     | $1,5 \pm 0,1$   | $1,5 \pm 0,1$     |
| Poids (kg)                     | $39,4 \pm 6,8$  | $58,8 \pm 16,0^*$ |
| IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) | $17,6 \pm 1,5$  | $25,3 \pm 6,8^*$  |

Moyenne  $\pm$  écart type, \*  $P<0,001$



**Figure 5:** Pression artérielle systolique en fonction de l'IMC

\* p<0,05; \*\* p<0,001



**Figure 6:** Pression artérielle diastolique en fonction de l'IMC

\* p<0,05; \*\* p<0,001

## CHAPITRE 9 - DISCUSSION

L'objectif principal de ce travail de recherche était d'évaluer les effets du travail mental sur la réactivité cardiovasculaire de l'enfant en santé. L'hypothèse de départ était que le travail mental soit un stimulus capable de perturber l'équilibre de la fonction autonome cardiaque. Les résultats nous ont permis d'observer une augmentation de la PAS de 5 mmHg et de la PAD de 5 mmHg lors du travail mental pour les enfants avec un IMC normal. Cette augmentation de la réactivité cardiovasculaire associée à la hausse de la pression artérielle correspond à ce qui a été rapporté dans la littérature sur le travail mental chez l'adulte en santé (Perusse-Lachance et al., 2011) ou par rapport au stress mental chez l'adulte et l'enfant (Callister et al., 1992; Falkner, 1991; Hjortskov et al., 2004). Les mécanismes sous-jacents sont encore mal connus, mais cet effet hypertenseur du travail mental pourrait être dû à un débordement du contrôle nerveux autonome et à une dominance de l'activité sympathique associée à une diminution de la sensibilité des baroréflexes (Durocher et al., 2011). Par ailleurs, la synthèse d'oxyde nitrique (NO) qui stimule la vasodilatation semble aussi être altérée par un stress mental (Cardillo, Kilcoyne, Quyyumi, Cannon, & Panza, 1997; Trueb, Lepori, Duplain, Scherrer, & Sartori, 2012). Bien que l'augmentation de la pression artérielle en réponse au stress mental soit bien documentée dans la littérature, la réaction du SNAS semble encore être ambiguë (Carter & Ray, 2009). Quelques auteurs ont soutenu que cette augmentation de la réactivité cardiovasculaire pourrait être due à une diminution de

l'activité nerveuse parasympathique (Perusse-Lachance et al., 2011; Taelman, Vandeput, Vlemincx, Spaepen, & Van Huffel, 2011). Puisqu'aucun auteur n'a utilisé un protocole expérimental similaire au nôtre chez l'enfant (et très peu chez l'adulte), il nous apparaît difficile d'effectuer des liens avec la littérature existante. Par contre, ce dernier point démontre l'aspect novateur de cette recherche.

L'augmentation de la PAS et de la PAD au travail mental par rapport à une condition de repos se veut une piste de recherche intéressante dans la prévention des maladies cardiovasculaires. Puisqu'il a été démontré par la littérature qu'un stress mental pouvait augmenter le risque d'évènements cardiaques à long terme (Carroll, Ginty, Der, et al., 2012; Jouven, 2009), le travail mental pourrait entraîner des conséquences similaires. Cette hypothèse est d'ailleurs soutenue par le groupe de recherche qui a étudié les effets du travail mental chez l'adulte (Pérusse-Lachance, 2012). Ce constat serait d'autant plus important pour les enfants avec une pression artérielle élevée qui réagiraient plus fortement à ce stimulus et deviendraient plus à risque de devenir des adultes hypertendus (von Eiff et al., 1985). Sachant que les maladies cardiovasculaires sont en tête de liste des principales causes de décès dans le monde (OMS, 2012), davantage de recherche sera nécessaire pour connaître les conséquences à long terme du travail mental sur la santé de l'enfant.

Les résultats n'ont révélé aucune variation de la fréquence cardiaque contrairement à d'autres études qui ont mesuré une hausse de la fréquence cardiaque allant jusqu'à 20 battements par minute lors d'un stress mental (Durocher et al., 2011;

Martin et al., 2008). Cette absence de résultat pourrait être expliquée par le fait que le travail mental réalisé quotidiennement par les enfants est moins stressant que les méthodologies utilisées par ces chercheurs faisant souvent référence à une notion stress.

Certains auteurs ont enregistré une diminution de la VFC lors d'un stress mental (Carter & Ray, 2009; Hjortskov et al., 2004). Contre toutes attentes, les participants de poids normaux de notre étude ont réagi par une augmentation des paramètres SDNN et rMSSD lors du travail mental. Ces résultats s'expliquent probablement par le fait que comme les participants réalisaient toujours le repos avant le travail mental, le début de la première période pouvait entraîner une baisse de la VFC associée au stress de l'étude. Ces données pourraient donc avoir affecté à la baisse les valeurs de repos expliquant l'augmentation lors de la deuxième période. D'ailleurs les valeurs de fréquences cardiaques et de pression artérielle étaient plus élevées au début et c'est pourquoi nous n'avons utilisé que les dernières mesures pour refléter l'effet de la période lors des analyses statistiques. Ces différences avec nos résultats pourraient aussi s'expliquer par les différences dans la méthodologie utilisée où aucun stress n'était appliqué aux participants et aussi par quelques difficultés techniques avec les appareils utilisés.

Dans cette étude, les garçons présentaient un ratio LF/HF plus faible que les filles et possiblement des valeurs de HF plus élevées (tableau 4). Jarrin et coll ont présenté des résultats similaires chez des enfants de 10 ans (Jarrin et al., 2015). Cette différence entre les sexes pourrait être reliée à la puberté qui apparaît généralement 2

ans plus tôt chez les filles (Rogol, Clark, & Roemmich, 2000) et le développement de la puberté coïncide avec la maturation des fonctions autonomes du système nerveux (Chen et al., 2012; Lenard, Studinger, Mersich, Kocsis, & Kollai, 2004).

En ce qui a trait aux variations dans la réactivité cardiovasculaire associées au sexe, la littérature semble aussi être ambiguë à ce sujet. Certains auteurs ont rapporté des différences entre les hommes et les femmes (Dittmar, Warm, Dember, & Ricks, 1993; Sato & Miyake, 2004) tandis que d'autres n'en ont pas observé (Carter & Ray, 2009). Une des explications des auteurs ayant enregistré des différences fait référence au fait que les femmes percevaient le travail mental comme étant plus difficile que les hommes (Dittmar et al., 1993). Dans notre étude, l'intensité de la demande cognitive était perçue de façon similaire pour les deux sexes. De plus, comme les sujets étaient âgés de 10 à 12 ans, ils n'avaient majoritairement pas atteint la puberté et le cycle menstruel est un élément qui pourrait affecter la réponse cardiovasculaire (Sato & Miyake, 2004). Encore une fois, le nombre de participants peu élevé peut aussi avoir diminué la puissance statistique.

L'étude nous a permis d'évaluer l'influence d'une séance d'activité physique précédent la période de travail mental. Tel que prévu dans l'hypothèse de départ, l'activité physique semble jouer un rôle protecteur en minimisant l'augmentation de la réactivité cardiovasculaire au travail mental chez l'enfant. Ces résultats sont similaires à la littérature sur le stress mental et l'activité physique chez l'enfant (Roemmich et al., 2009) et chez l'adulte (Brownley et al., 2003; Neves et al., 2012; Rooks et al., 2011).

Dans notre étude, les valeurs de PAS et de PAD lors de la condition TM-AP n'étaient pas significativement différentes de celles prises lors de la période de repos. Ce phénomène pourrait être dû à l'effet hypotenseur aigu de l'activité physique qui crée une vasodilatation et une diminution du tonus sympathique (Hamer, 2006). Il est bien documenté que les cours d'éducation physique améliorent la concentration et les résultats scolaires de l'enfant (Trudeau & Shephard, 2008), et les résultats de cette étude démontrent qu'ils permettraient en plus de contrer la réactivité cardiovasculaire associée au travail mental ce qui augmente leur importance dans les écoles. De plus, tel que mentionné précédemment, le nombre d'enfants avec une pression artérielle élevée est en augmentation dans les pays industrialisés (Maldonado et al., 2011; Sorof et al., 2002) et l'impact de l'activité physique serait d'autant plus important chez ces jeunes puisqu'ils pourraient éviter de développer de l'HTA en profitant des effets hypotenseurs de l'exercice dès l'enfance. À ce dernier point, j'ajouterais qu'il est crucial que l'activité physique soit pratiquée de façon quotidienne, les effets bénéfiques aigus sur la pression artérielle étant présents dans les 24 heures suivant l'exercice (Hamer, 2006). D'ailleurs la littérature s'intéressant aux « *weekend warriors* » (individus rencontrant les recommandations d'activité physique, mais répartie seulement sur une ou deux périodes dans la semaine) démontre que les bénéfices sur la santé et la réduction de la mortalité sont significativement plus présents chez les individus actifs régulièrement pour une même dépense énergétique hebdomadaire (Lee, Sesso, Oguma, & Paffenbarger, 2004). Toutes ces évidences suggèrent donc que les périodes d'éducation physique devraient

être bien réparties dans la semaine et ainsi faire partie intégrante du quotidien des enfants.

On note que la fréquence cardiaque moyenne semble légèrement plus élevée lors de la condition TM-AP (chapitre 7). Dans notre méthodologie, il n'y avait aucun délai entre l'éducation physique et le travail mental comme ce fut le cas dans d'autres études où un délai de 20 minutes était alloué avant le stress mental (Hobson & Rejeski, 1993; West et al., 1998). Cette façon de faire aurait pu influencer les résultats obtenus.

Au chapitre 8, lorsqu'on compare les sujets avec un IMC normal (n) à ceux présentant un surplus de poids (s), on constate que la PAS et la PAD sont plus élevées suite au travail mental chez le groupe s que le groupe n. Ces résultats s'expliquent en majeure partie par les valeurs de pression artérielle au repos qui sont corrélées avec celle du travail mental. On observe tout de même une tendance de ce groupe à réagir plus fortement au travail mental comparativement aux enfants normopondéreux ( $p=0,1$ ), ce qui pourrait augmenter leur susceptibilité à développer des facteurs de risque cardiovasculaire. D'ailleurs les études sur les enfants en surpoids ou obèses rapportent que ceux-ci ont une pression artérielle plus élevée (Mazor-Aronovitch et al., 2014; Rosaneli et al., 2014) et présentent plusieurs risques accrus de la maladie cardiovasculaire (Sukhonthachit et al., 2014). L'activité physique aurait donc une grande importance chez ces jeunes pour contrôler ces facteurs de risques ainsi que pour contrer les effets sur la réactivité cardiovasculaire associée au travail mental.

Notre étude présente toutefois quelques limitations qui pourraient avoir eu une influence sur les résultats obtenus. Premièrement, tel que mentionné, la petite taille de l'échantillon diminue la puissance statistique de notre analyse. Un nombre de participants plus important aurait pu nous laisser voir plus de variations notamment au niveau de la VFC ou des comparaisons entre les sexes et le statut pondéral. Deuxièmement, comme nous avons choisi d'effectuer les tests directement dans les écoles, au lieu d'expérimentations en laboratoire, le contrôle était plus difficile. En effet, comme les cours de français et d'éducation physique étaient donnés par les professeurs réguliers, nous pouvions difficilement contrôler le temps alloué aux explications, à la gestion de classe ou encore le choix de l'activité physique et de son intensité. Ainsi, il pouvait y avoir certaines variations entre les cours ou les écoles. Par contre, l'utilisation de l'accélérométrie lors du cours d'éducation physique et du questionnaire sur l'intensité de la demande cognitive nous a permis de voir qu'il n'existe pas de différence significative entre les groupes. Aussi, nous étions contraints aux bruits environnants, aux sons de cloche, aux déplacements des autres élèves et aux imprévus du milieu scolaire. Par contre, cette limitation représente à la fois une force de notre étude puisque nous avons réussi à analyser le plus fidèlement possible le quotidien d'un enfant d'âge primaire. Troisièmement, une autre limitation importante concerne la mesure des valeurs de repos qui n'a été effectuée que lors de la journée TM-R et pas lors de la journée TM-AP. Ainsi, puisque ces valeurs physiologiques peuvent varier rapidement d'une journée à l'autre, il est difficile de généraliser les résultats obtenus. Finalement, le choix de notre méthodologie portant sur le travail mental au lieu du stress mental, comme il est souvent

le cas dans la littérature, nous limite quelque peu dans l'analyse et la comparaison avec les autres études. Par contre, encore une fois, il s'agit aussi d'un point fort de cette étude puisque le travail mental représente beaucoup plus les tâches quotidiennes d'un enfant à l'école.

## CONCLUSION

Ce mémoire de maîtrise suggère que le travail mental a le potentiel d'augmenter la réactivité cardiovasculaire chez l'enfant en santé en élevant la PAS et la PAD, mais n'aurait aucun effet sur la fréquence cardiaque. Les garçons et les filles présenteraient des réponses similaires. Les enfants en surpoids ou en obésité quant à eux auraient une pression artérielle plus élevée au travail mental principalement expliquée par leurs valeurs de repos plus élevées. Le point majeur de cette étude est qu'une séance d'éducation physique de 60 minutes précédant le travail mental serait suffisante pour contrer l'augmentation de la réactivité cardiovasculaire.

La valorisation des performances académiques dans notre société, nous obligent à nous questionner sur leurs répercussions physiologiques potentielles. Par ailleurs, avec la sédentarisation de la population et plus particulièrement des enfants, nous devons porter une attention particulière à nos comportements actuels qui sont bien différents de ceux de nos ancêtres. Bien sûr, il n'existe aucun moyen de retourner à notre mode de vie « naturel », mais le fait de connaître les effets physiologiques et les répercussions de notre environnement moderne peut nous permettre de modifier certains comportements autodestructeurs. Pour un fonctionnement optimal du corps humain, à tout âge, la pratique régulière d'activités physiques est essentielle et ce travail a permis d'en renforcer les bienfaits.

## RÉFÉRENCES

- Aletti, F., Ferrario, M., de Jesus, T. B., Stirbulov, R., Silva, A. B., Cerutti, S., & Sampaio, L. M. (2012). Heart rate variability in children with cyanotic and acyanotic congenital heart disease: analysis by spectral and non linear indices. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2012*, 4189-4192. doi: 10.1109/EMBC.2012.6346890
- Anderson, E. A., Sinkey, C. A., & Mark, A. L. (1991). Mental stress increases sympathetic nerve activity during sustained baroreceptor stimulation in humans. *Hypertension, 17*(4 Suppl), III43-49.
- Anderssen, S. A., Cooper, A. R., Riddoch, C., Sardinha, L. B., Harro, M., Brage, S., & Andersen, L. B. (2007). Low cardiorespiratory fitness is a strong predictor for clustering of cardiovascular disease risk factors in children independent of country, age and sex. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil, 14*(4), 526-531. doi: 10.1097/HJR.0b013e328011efc1
- Archer, E., & Blair, S. N. (2011). Physical activity and the prevention of cardiovascular disease: from evolution to epidemiology. *Prog Cardiovasc Dis, 53*(6), 387-396. doi: 10.1016/j.pcad.2011.02.006
- Ardoy, D. N., Fernandez-Rodriguez, J. M., Jimenez-Pavon, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., & Ortega, F. B. (2014). A Physical Education trial

- improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: the EDUFIT study. *Scand J Med Sci Sports*, 24(1), e52-61. doi: 10.1111/sms.12093
- Astrand, P. O. (1992). Physical activity and fitness. *Am J Clin Nutr*, 55(6 Suppl), 1231S-1236S.
- Balagopal, P. B., de Ferranti, S. D., Cook, S., Daniels, S. R., Gidding, S. S., Hayman, L. L., . . . Steinberger, J. (2011). Nontraditional risk factors and biomarkers for cardiovascular disease: mechanistic, research, and clinical considerations for youth: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 123(23), 2749-2769. doi: 10.1161/CIR.0b013e31821c7c64
- Ballard-Barbash, R., Hunsberger, S., Alciati, M. H., Blair, S. N., Goodwin, P. J., McTiernan, A., . . . Schatzkin, A. (2009). Physical Activity, Weight Control, and Breast Cancer Risk and Survival: Clinical Trial Rationale and Design Considerations. *Journal of the National Cancer Institute*, 101(9), 630-643. doi: Doi 10.1093/Jnci/Djp068
- Bao, W., Threelfoot, S. A., Srinivasan, S. R., & Berenson, G. S. (1995). Essential hypertension predicted by tracking of elevated blood

- pressure from childhood to adulthood: the Bogalusa Heart Study. *Am J Hypertens*, 8(7), 657-665. doi: 10.1016/0895-7061(95)00116-7
- Bassuk, S. S., & Manson, J. E. (2010). Physical activity and cardiovascular disease prevention in women: a review of the epidemiologic evidence. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 20(6), 467-473. doi: 10.1016/j.numecd.2009.12.015
- Bedi, M., Varshney, V. P., & Babbar, R. (2000). Role of cardiovascular reactivity to mental stress in predicting future hypertension. *Clin Exp Hypertens*, 22(1), 1-22.
- Berryman, J. W. (1989). The Tradition of the 6 Things Non-Natural - Exercise and Medicine from Hippocrates through Antebellum America. *Exercise and Sport Sciences Reviews/Series*, 17, 515-557.
- Blair, S. N. (2009). Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century. *Br J Sports Med*, 43(1), 1-2.
- Blumenthal, J. A., Fredrikson, M., Kuhn, C. M., Ulmer, R. L., Walsh-Riddle, M., & Appelbaum, M. (1990). Aerobic exercise reduces levels of cardiovascular and sympathoadrenal responses to mental stress in subjects without prior evidence of myocardial ischemia. *Am J Cardiol*, 65(1), 93-98.

- Boone, J. B., Jr., Probst, M. M., Rogers, M. W., & Berger, R. (1993). Postexercise hypotension reduces cardiovascular responses to stress. *J Hypertens*, 11(4), 449-453.
- Brady, T. M., & Feld, L. G. (2009). Pediatric approach to hypertension. *Semin Nephrol*, 29(4), 379-388. doi: 10.1016/j.semephrol.2009.03.014
- Brouwer, J., van Veldhuisen, D. J., Man in 't Veld, A. J., Haaksma, J., Dijk, W. A., Visser, K. R., . . . Dunselman, P. H. (1996). Prognostic value of heart rate variability during long-term follow-up in patients with mild to moderate heart failure. The Dutch Ibopamine Multicenter Trial Study Group. *J Am Coll Cardiol*, 28(5), 1183-1189.
- Brownley, K. A., Hinderliter, A. L., West, S. G., Girdler, S. S., Sherwood, A., & Light, K. C. (2003). Sympathoadrenergic mechanisms in reduced hemodynamic stress responses after exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 978-986. doi: 10.1249/01.MSS.0000069335.12756.1B
- Callister, R., Suwarno, N. O., & Seals, D. R. (1992). Sympathetic activity is influenced by task difficulty and stress perception during mental challenge in humans. *J Physiol*, 454, 373-387.

- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., . . . Singer, D. H. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J*, 17(3), 354-381.
- Cardillo, C., Kilcoyne, C. M., Quyyumi, A. A., Cannon, R. O., 3rd, & Panza, J. A. (1997). Role of nitric oxide in the vasodilator response to mental stress in normal subjects. *Am J Cardiol*, 80(8), 1070-1074.
- Carroll, D., Ginty, A. T., Der, G., Hunt, K., Benzeval, M., & Phillips, A. C. (2012). Increased blood pressure reactions to acute mental stress are associated with 16-year cardiovascular disease mortality. *Psychophysiology*, 49(10), 1444-1448. doi: 10.1111/j.1469-8986.2012.01463.x
- Carroll, D., Ginty, A. T., Painter, R. C., Roseboom, T. J., Phillips, A. C., & de Rooij, S. R. (2012). Systolic blood pressure reactions to acute stress are associated with future hypertension status in the Dutch Famine Birth Cohort Study. *Int J Psychophysiol*, 85(2), 270-273. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.04.001
- Carroll, D., Phillips, A. C., Der, G., Hunt, K., & Benzeval, M. (2011). Blood pressure reactions to acute mental stress and future blood

pressure status: data from the 12-year follow-up of the West of

Scotland Study. *Psychosom Med*, 73(9), 737-742. doi:

10.1097/PSY.0b013e3182359808

Carroll, D., Ring, C., Hunt, K., Ford, G., & Macintyre, S. (2003). Blood

pressure reactions to stress and the prediction of future blood

pressure: effects of sex, age, and socioeconomic position. *Psychosom*

*Med*, 65(6), 1058-1064.

Carson, V., Rinaldi, R. L., Torrance, B., Maximova, K., Ball, G. D.,

Majumdar, S. R., . . . McGavock, J. (2014). Vigorous physical

activity and longitudinal associations with cardiometabolic risk

factors in youth. *Int J Obes (Lond)*, 38(1), 16-21. doi:

10.1038/ijo.2013.135

Carter, J. R., & Ray, C. A. (2009). Sympathetic neural responses to mental

stress: responders, nonresponders and sex differences. *Am J Physiol*

*Heart Circ Physiol*, 296(3), H847-853. doi:

10.1152/ajpheart.01234.2008

Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical

activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions

for health-related research. *Public Health Rep*, 100(2), 126-131.

Cesa, C. C., Sbruzzi, G., Ribeiro, R. A., Barbiero, S. M., de Oliveira Petkowicz, R., Eibel, B., Machado, N. B., Marques, R., Tortato, G., Santos, T. J., Leiria, C., Schaan, B. D., Pellanda, L. C. (2014). Physical activity and cardiovascular risk factors in children: meta-analysis of randomized clinical trials. *Prev Med*, 69C, 54-62. doi: 10.1016/j.ypmed.2014.08.014

Chaput, J. P., Drapeau, V., Poirier, P., Teasdale, N., & Tremblay, A. (2008). Glycemic instability and spontaneous energy intake: association with knowledge-based work. *Psychosom Med*, 70(7), 797-804. doi: 10.1097/PSY.0b013e31818426fa

Chaput, J. P., Saunders, T. J., Mathieu, M. E., Henderson, M., Tremblay, M. S., O'Loughlin, J., & Tremblay, A. (2013). Combined associations between moderate to vigorous physical activity and sedentary behaviour with cardiometabolic risk factors in children. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(5), 477-483. doi: 10.1139/apnm-2012-0382

Chaput, J. P., & Tremblay, A. (2007). Acute effects of knowledge-based work on feeding behavior and energy intake. *Physiol Behav*, 90(1), 66-72. doi: 10.1016/j.physbeh.2006.08.030

- Chen, S. R., Chiu, H. W., Lee, Y. J., Sheen, T. C., & Jeng, C. (2012). Impact of pubertal development and physical activity on heart rate variability in overweight and obese children in Taiwan. *J Sch Nurs*, 28(4), 284-290. doi: 10.1177/1059840511435248
- Church, T. S., LaMonte, M. J., Barlow, C. E., & Blair, S. N. (2005). Cardiorespiratory fitness and body mass index as predictors of cardiovascular disease mortality among men with diabetes. *Arch Intern Med*, 165(18), 2114-2120. doi: 10.1001/archinte.165.18.2114
- Cinciripini, P. M. (1986a). Cognitive stress and cardiovascular reactivity. I. Relationship to hypertension. *Am Heart J*, 112(5), 1044-1050.
- Cinciripini, P. M. (1986b). Cognitive stress and cardiovascular reactivity. II. Relationship to atherosclerosis, arrhythmias, and cognitive control. *Am Heart J*, 112(5), 1051-1065.
- Colley, R. C., Garriguet, D., Janssen, I., Craig, C. L., Clarke, J., & Tremblay, M. S. (2011a). Physical activity of Canadian adults: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep*, 22(1), 7-14.
- Colley, R. C., Garriguet, D., Janssen, I., Craig, C. L., Clarke, J., & Tremblay, M. S. (2011b). Physical activity of Canadian children and

youth: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep*, 22(1), 15-23.

Cornelissen, V. A., & Fagard, R. H. (2005). Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors. *Hypertension*, 46(4), 667-675. doi: 10.1161/01.HYP.0000184225.05629.51

Costin, A., Costin, N., Cohen, P., Eisenach, C., & Marchlinski, F. (2013). Effect of exercise on heart-rate response to mental stress in teenagers. *Eur J Prev Cardiol*, 20(4), 593-596. doi: 10.1177/2047487312444369

Countryman, A. J., Saab, P. G., Llabre, M. M., Penedo, F. J., McCalla, J. R., & Schneiderman, N. (2013). Cardiometabolic risk in adolescents: associations with physical activity, fitness, and sleep. *Annals of Behavioral Medicine*, 45(1), 121-131. doi: 10.1007/s12160-012-9428-8

Dalili, S., Mohammadi, H., Rezvany, S. M., Dadashi, A., Novin, M. H., Gholaminejad, H., . . . Hassanzadeh Rad, A. (2014). The Relationship Between Blood Pressure, Anthropometric Indices and

Metabolic Profile in Adolescents: A Cross Sectional Study. *Indian J*

*Pediatr.* doi: 10.1007/s12098-014-1573-6

Danielsen, K. K., Svendsen, M., Maehlum, S., & Sundgot-Borgen, J.

(2013). Changes in body composition, cardiovascular disease risk factors, and eating behavior after an intensive lifestyle intervention with high volume of physical activity in severely obese subjects: a prospective clinical controlled trial. *J Obes*, 2013, 325464. doi:

10.1155/2013/325464

Davy, K. P., DeSouza, C. A., Jones, P. P., & Seals, D. R. (1998). Elevated heart rate variability in physically active young and older adult women. *Clin Sci (Lond)*, 94(6), 579-584.

De Jong, M. J., & Randall, D. C. (2005). Heart rate variability analysis in the assessment of autonomic function in heart failure. *J Cardiovasc Nurs*, 20(3), 186-195; quiz 196-187.

De Meersman, R. E. (1993). Heart rate variability and aerobic fitness. *Am Heart J*, 125(3), 726-731.

Deter, H. C., Wolf, C., Blecher, A., Thomas, A., Zimmermann, F., & Weber, C. (2007). Cardiovascular reactivity in patients with essential

- or renal hypertension under standardized mental stress. *Clin Exp Hypertens*, 29(5), 301-310. doi: 10.1080/10641960701500414
- Dittmar, M. L., Warm, J. S., Dember, W. N., & Ricks, D. F. (1993). Sex differences in vigilance performance and perceived workload. *J Gen Psychol*, 120(3), 309-322. doi: 10.1080/00221309.1993.9711150
- Durocher, J. J., Klein, J. C., & Carter, J. R. (2011). Attenuation of sympathetic baroreflex sensitivity during the onset of acute mental stress in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 300(5), H1788-1793. doi: 10.1152/ajpheart.00942.2010
- Dwyer, T., Coonan, W. E., Leitch, D. R., Hetzel, B. S., & Baghurst, R. A. (1983). An investigation of the effects of daily physical activity on the health of primary school students in South Australia. *Int J Epidemiol*, 12(3), 308-313.
- Ebbeling, C. B., Pawlak, D. B., & Ludwig, D. S. (2002). Childhood obesity: public-health crisis, common sense cure. *Lancet*, 360(9331), 473-482. doi: 10.1016/S0140-6736(02)09678-2
- Eisenmann, J. C. (2004). Physical activity and cardiovascular disease risk factors in children and adolescents: an overview. *Can J Cardiol*, 20(3), 295-301.

Esler, M., Eikelis, N., Schlaich, M., Lambert, G., Alvarenga, M., Dawood, T., Kaye, D., Barton, D., Pier, C., Guo, L., Brenchley, C., Jennings, G., Lambert, E. (2008). Chronic mental stress is a cause of essential hypertension: presence of biological markers of stress. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 35(4), 498-502. doi: 10.1111/j.1440-1681.2008.04904.x

Expert panel on integrated guidelines for cardiovascular health and risk reduction in children and adolescents: summary report. (2011).

*Pediatrics*, 128 Suppl 5, S213-256. doi: 10.1542/peds.2009-2107C

Falkner, B. (1991). Blood pressure response to mental stress. *Am J Hypertens*, 4(11), 621S-623S.

Falkner, B., Onesti, G., Angelakos, E. T., Fernandes, M., & Langman, C. (1979). Cardiovascular response to mental stress in normal adolescents with hypertensive parents. Hemodynamics and mental stress in adolescents. *Hypertension*, 1(1), 23-30.

Faulkner, M. S., Hathaway, D., & Tolley, B. (2003). Cardiovascular autonomic function in healthy adolescents. *Heart Lung*, 32(1), 10-22. doi: 10.1067/mhl.2003.6

Fedewa, A. L., & Ahn, S. (2011). The effects of physical activity and physical fitness on children's achievement and cognitive outcomes: a meta-analysis. *Res Q Exerc Sport, 82*(3), 521-535.

Finley, J. P., & Nugent, S. T. (1995). Heart rate variability in infants, children and young adults. *J Auton Nerv Syst, 51*(2), 103-108.

Fixler, D. E., Laird, W. P., Fitzgerald, V., Stead, S., & Adams, R. (1979). Hypertension screening in schools: results of the Dallas study. *Pediatrics, 63*(1), 32-36.

Flaa, A., Eide, I. K., Kjeldsen, S. E., & Rostrup, M. (2008). Sympathoadrenal stress reactivity is a predictor of future blood pressure: an 18-year follow-up study. *Hypertension, 52*(2), 336-341.  
doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.108.111625

Forsman, L., & Lindblad, L. E. (1983). Effect of mental stress on baroreceptor-mediated changes in blood pressure and heart rate and on plasma catecholamines and subjective responses in healthy men and women. *Psychosom Med, 45*(5), 435-445.

The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents. (2004). *Pediatrics, 114*(2 Suppl 4th Report), 555-576.

Freedman, D. S., Khan, L. K., Serdula, M. K., Dietz, W. H., Srinivasan, S. R., & Berenson, G. S. (2005). The relation of childhood BMI to adult adiposity: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics*, 115(1), 22-27. doi: 10.1542/peds.2004-0220

Friedemann, C., Heneghan, C., Mahtani, K., Thompson, M., Perera, R., & Ward, A. M. (2012). Cardiovascular disease risk in healthy children and its association with body mass index: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 345, e4759. doi: 10.1136/bmj.e4759

Goldberg, A. D., Becker, L. C., Bonsall, R., Cohen, J. D., Ketterer, M. W., Kaufman, P. G., . . . Sheps, D. S. (1996). Ischemic, hemodynamic, and neurohormonal responses to mental and exercise stress. Experience from the Psychophysiological Investigations of Myocardial Ischemia Study (PIMI). *Circulation*, 94(10), 2402-2409.

Gordon, D., Herrera, V. L., McAlpine, L., Cohen, R. J., Akselrod, S., Lang, P., & Norwood, W. I. (1988). Heart-rate spectral analysis: a noninvasive probe of cardiovascular regulation in critically ill children with heart disease. *Pediatr Cardiol*, 9(2), 69-77.

- Gui-Ling, X., Jing-Hua, W., Yan, Z., Hui, X., Jing-Hui, S., & Si-Rui, Y. (2013). Association of high blood pressure with heart rate variability in children. *Iran J Pediatr*, 23(1), 37-44.
- Gutin, B., Barbeau, P., Litaker, M. S., Ferguson, M., & Owens, S. (2000). Heart rate variability in obese children: relations to total body and visceral adiposity, and changes with physical training and detraining. *Obesity Research*, 8(1), 12-19. doi: 10.1038/oby.2000.3
- Hamer, M. (2006). The anti-hypertensive effects of exercise: integrating acute and chronic mechanisms. *Sports Med.* 36(2), 109-116.
- Hamer, M., Taylor, A., & Steptoe, A. (2006). The effect of acute aerobic exercise on stress related blood pressure responses: a systematic review and meta-analysis. *Biol Psychol*, 71(2), 183-190. doi: 10.1016/j.biopsych.2005.04.004
- Han, L., Ho, T. F., Yip, W. C., & Chan, K. Y. (2000). Heart rate variability of children with mitral valve prolapse. *J Electrocardiol*, 33(3), 219-224.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent

- children. *Neuroscience*, 159(3), 1044-1054. doi: 10.1016/j.neuroscience.2009.01.057
- Hjortskov, N., Rissen, D., Blangsted, A. K., Fallentin, N., Lundberg, U., & Sogaard, K. (2004). The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur J Appl Physiol*, 92(1-2), 84-89. doi: 10.1007/s00421-004-1055-z
- Hobson, M. L., & Rejeski, W. J. (1993). Does the Dose of Acute Exercise Mediate Psychophysiological Responses to Mental Stress. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 15(1), 77-87.
- Hon, E. H. (1965). Fetal Electrocardiography. *Anesthesiology*, 26, 477-486.
- Hvidt, K. N., Olsen, M. H., Holm, J. C., & Ibsen, H. (2014). Obese children and adolescents have elevated nighttime blood pressure independent of insulin resistance and arterial stiffness. *Am J Hypertens*, 27(11), 1408-1415. doi: 10.1093/ajh/hpu055
- Janssen, I. (2012). Health care costs of physical inactivity in Canadian adults. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(4), 803-806. doi: 10.1139/h2012-061
- Jarrin, D. C., McGrath, J. J., Poirier, P., Seguin, L., Tremblay, R. E., Montplaisir, J. Y., . . . Seguin, J. R. (2015). Short-term heart rate

variability in a population-based sample of 10-year-old children.

*Pediatr Cardiol*, 36(1), 41-48. doi: 10.1007/s00246-014-0962-y

Jennings, J. R., Kamarck, T. W., Everson-Rose, S. A., Kaplan, G. A.,

Manuck, S. B., & Salonen, J. T. (2004). Exaggerated blood pressure responses during mental stress are prospectively related to enhanced carotid atherosclerosis in middle-aged Finnish men. *Circulation*, 110(15), 2198-2203. doi: 10.1161/01.CIR.0000143840.77061.E9

Jouven, X. (2009). Resting heart rate and excessive heart rate increase

during pre-exercise mental stress: which one predicts mortality?

Reply. *Eur Heart J*, 30(22), 2815-2815. doi: DOI

10.1093/eurheartj/ehp448

Jouven, X., Schwartz, P. J., Escolano, S., Straczek, C., Tafflet, M., Desnos,

M., . . . Ducimetiere, P. (2009). Excessive heart rate increase during

mild mental stress in preparation for exercise predicts sudden death

in the general population. *Eur Heart J*, 30(14), 1703-1710. doi:

10.1093/eurheartj/ehp160

Kim, S. Y., & So, W. Y. (2012). The relationship between school

performance and the number of physical education classes attended

by korean adolescent students. *J Sports Sci Med*, 11(2), 226-230.

Kodama, S., Tanaka, S., Heianza, Y., Fujihara, K., Horikawa, C., Shimano, H., . . . Sone, H. (2013). Association between physical activity and risk of all-cause mortality and cardiovascular disease in patients with diabetes: a meta-analysis. *Diabetes Care*, 36(2), 471-479. doi:

10.2337/dc12-0783

Kristiansen, J., Korshoj, M., Skotte, J. H., Jespersen, T., Sogaard, K., Mortensen, O. S., & Holtermann, A. (2011). Comparison of two systems for long-term heart rate variability monitoring in free-living conditions--a pilot study. *Biomed Eng Online*, 10, 27. doi:

10.1186/1475-925X-10-27

Lee, C. D., Blair, S. N., & Jackson, A. S. (1999). Cardiorespiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 373-380.

Lee, I. M., Sesso, H. D., Gurna, Y., & Paffenbarger, R. S. (2003). Relative intensity of physical heart activity and risk of coronary disease.

*Circulation*, 107(8), 1110-1116. doi: Doi

10.1161/01.Cir.0000052626.63602.58

- Lee, I. M., Sesso, H. D., Oguma, Y., & Paffenbarger, R. S. (2004). The "weekend warrior" and risk of mortality. *Am J Epidemiol.* 160(7), 636-641. doi: Doi 10.1093/Aje/Kwh274
- Lenard, Z., Studinger, P., Mersich, B., Kocsis, L., & Kollai, M. (2004). Maturation of cardiovagal autonomic function from childhood to young adult age. *Circulation.* 110(16), 2307-2312. doi: 10.1161/01.CIR.0000145157.07881.A3
- Magnussen, C. G., Koskinen, J., Chen, W., Thomson, R., Schmidt, M. D., Srinivasan, S. R., . . . Raitakari, O. T. (2010). Pediatric metabolic syndrome predicts adulthood metabolic syndrome, subclinical atherosclerosis, and type 2 diabetes mellitus but is no better than body mass index alone: the Bogalusa Heart Study and the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Circulation.* 122(16), 1604-1611. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940809
- Maldonado, J., Pereira, T., Fernandes, R., Santos, R., & Carvalho, M. (2011). An approach of hypertension prevalence in a sample of 5381 Portuguese children and adolescents. The AVELEIRA registry. "Hypertension in children". *Blood Press.* 20(3), 153-157. doi: 10.3109/08037051.2010.542649

- Martin, E. A., Tan, S. L., MacBride, L. R., Lavi, S., Lerman, L. O., & Lerman, A. (2008). Sex differences in vascular and endothelial responses to acute mental stress. *Clin Auton Res*, 18(6), 339-345. doi: 10.1007/s10286-008-0497-5
- Matsukawa, T., Gotoh, E., Uneda, S., Miyajima, E., Shionoiri, H., Tochikubo, O., & Ishii, M. (1991). Augmented sympathetic nerve activity in response to stressors in young borderline hypertensive men. *Acta Physiol Scand*, 141(2), 157-165. doi: 10.1111/j.1748-1716.1991.tb09064.x
- Mazor-Aronovitch, K., Lotan, D., Modan-Moses, D., Fradkin, A., & Pinhas-Hamiel, O. (2014). Blood pressure in obese and overweight children and adolescents. *Isr Med Assoc J*, 16(3), 157-161.
- Melzer, K., Kayser, B., & Pichard, C. (2004). Physical activity: the health benefits outweigh the risks. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 7(6), 641-647.
- Mitchell, J. A., Mattocks, C., Ness, A. R., Leary, S. D., Pate, R. R., Dowda, M., . . . Riddoch, C. (2009). Sedentary behavior and obesity in a large cohort of children. *Obesity (Silver Spring)*, 17(8), 1596-1602. doi: 10.1038/oby.2009.42

- Morris, J. N., Heady, J. A., Raffle, P. A., Roberts, C. G., & Parks, J. W. (1953). Coronary heart-disease and physical activity of work. *Lancet*, 265(6796), 1111-1120; concl.
- Morrow, J. R., Jr., Jackson, A. W., Bazzarre, T. L., Milne, D., & Blair, S. N. (1999). A one-year follow-up to physical activity and health. A report of the Surgeon General. *American Journal of Preventive Medicine*, 17(1), 24-30.
- Musialik-Lydka, A., Sredniawa, B., & Pasyk, S. (2003). Heart rate variability in heart failure. *Kardiol Pol*, 58(1), 10-16.
- Nagai, N., Hamada, T., Kimura, T., & Moritani, T. (2004). Moderate physical exercise increases cardiac autonomic nervous system activity in children with low heart rate variability. *Childs Nerv Syst*, 20(4), 209-214; discussion 215. doi: 10.1007/s00381-004-0915-5
- Ness, A. R., Leary, S. D., Mattocks, C., Blair, S. N., Reilly, J. J., Wells, J., . . . Riddoch, C. (2007). Objectively measured physical activity and fat mass in a large cohort of children. *PLoS Med*, 4(3), e97. doi: 10.1371/journal.pmed.0040097
- Neves, F. J., Carvalho, A. C., Rocha, N. G., Silva, B. M., Sales, A. R., de Castro, R. R., Rocha, J. D., Thomaz, T. G., Nobrega, A. C. (2012).

Hemodynamic mechanisms of the attenuated blood pressure response to mental stress after a single bout of maximal dynamic exercise in healthy subjects. *Braz J Med Biol Res*, 45(7), 610-616.

Oguma, Y., & Shinoda-Tagawa, T. (2004). Physical activity decreases cardiovascular disease risk in women: review and meta-analysis.

*American Journal of Preventive Medicine*, 26(5), 407-418. doi: 10.1016/j.amepre.2004.02.007

Palve, K. S., Pahkala, K., Magnussen, C. G., Koivisto, T., Juonala, M., Kahonen, M., Lehtimaki, T., Ronnemaa, T., Viikari, J., Raitakari, O. T. (2014). Association of physical activity in childhood and early adulthood with carotid artery elasticity 21 years later: the

cardiovascular risk in Young Finns Study. *J Am Heart Assoc*, 3(2), e000594. doi: 10.1161/JAHA.113.000594

Perusse-Lachance, E., Chaput, J. P., Brassard, P., Poirier, P., Drapeau, V., Teasdale, N., Senecal, C., Tremblay, A. (2011). Mental Work Influences Cardiovascular Responses Through a Reduction in Cardiac Parasympathetic Modulation in Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc*, 43(5), 747-747.

- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R., Farquhar, W. B., Kelley, G. A., & Ray, C. A. (2004). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc.* 36(3), 533-553.
- Pescatello, L. S., & Kulikowich, J. M. (2001). The aftereffects of dynamic exercise on ambulatory blood pressure. *Med Sci Sports Exerc.* 33(11), 1855-1861.
- Pols, M. A., Peeters, P. H., Twisk, J. W., Kemper, H. C., & Grobbee, D. E. (1997). Physical activity and cardiovascular disease risk profile in women. *Am J Epidemiol.* 146(4), 322-328.
- Pontifex, M. B., Saliba, B. J., Raine, L. B., Picchietti, D. L., & Hillman, C. H. (2013). Exercise improves behavioral, neurocognitive, and scholastic performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Pediatr.* 162(3), 543-551. doi: 10.1016/j.jpeds.2012.08.036
- Probst, M., Bulbulian, R., & Knapp, C. (1997). Hemodynamic responses to the stroop and cold pressor tests after submaximal cycling exercise in normotensive males. *Physiol Behav.* 62(6), 1283-1290.

- Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A., Zakeri, I., & Butte, N. F. (2004). Prediction of activity energy expenditure using accelerometers in children. *Med Sci Sports Exerc*, 36(9), 1625-1631.
- Reddigan, J. I., Ardern, C. I., Riddell, M. C., & Kuk, J. L. (2011). Relation of physical activity to cardiovascular disease mortality and the influence of cardiometabolic risk factors. *Am J Cardiol*, 108(10), 1426-1431. doi: 10.1016/j.amjcard.2011.07.005
- Reiner, M., Niermann, C., Jekauc, D., & Woll, A. (2013). Long-term health benefits of physical activity--a systematic review of longitudinal studies. *BMC Public Health*, 13, 813. doi: 10.1186/1471-2458-13-813
- Riddoch, C. J., Leary, S. D., Ness, A. R., Blair, S. N., Deere, K., Mattocks, C., . . . Tilling, K. (2009). Prospective associations between objective measures of physical activity and fat mass in 12-14 year old children: the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). *BMJ*, 339, b4544. doi: 10.1136/bmj.b4544
- Roberts, K. C., Shields, M., de Groh, M., Aziz, A., & Gilbert, J. A. (2012). Overweight and obesity in children and adolescents: results from the

2009 to 2011 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep.* 23(3),

37-41.

Roemmich, J. N., Lambiase, M., Salvy, S. J., & Horvath, P. J. (2009).

Protective effect of interval exercise on psychophysiological stress reactivity in children. *Psychophysiology*, 46(4), 852-861. doi:

10.1111/j.1469-8986.2009.00808.x

Rogol, A. D., Clark, P. A., & Roemmich, J. N. (2000). Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *Am J Clin Nutr*, 72(2 Suppl), 521S-528S.

Rooks, C. R., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2011). Acute exercise improves endothelial function despite increasing vascular resistance during stress in smokers and nonsmokers. *Psychophysiology*, 48(9),

1299-1308. doi: 10.1111/j.1469-8986.2011.01194.x

Rosaneli, C. F., Baena, C. P., Auler, F., Nakashima, A. T., Netto-Oliveira, E. R., Oliveira, A. B., . . . Faria-Neto, J. R. (2014). Elevated blood pressure and obesity in childhood: a cross-sectional evaluation of 4,609 schoolchildren. *Arq Bras Cardiol*, 103(3), 238-244.

Sanchez-Lazaro, I. J., Cano-Perez, O., Ruiz-Llorca, C., Almenar-Bonet, L., Sancho-Tello, M. J., Martinez-Dolz, L., . . . Sanz, A. S. (2011).

- Autonomic nervous system dysfunction in advanced systolic heart failure. *Int J Cardiol*, 152(1), 83-87. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.07.010
- Sato, N., & Miyake, S. (2004). Cardiovascular reactivity to mental stress: relationship with menstrual cycle and gender. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 23(6), 215-223.
- Saunders, T. J., Chaput, J. P., & Tremblay, M. S. (2014). Sedentary behaviour as an emerging risk factor for cardiometabolic diseases in children and youth. *Can J Diabetes*, 38(1), 53-61. doi: 10.1016/j.jcjd.2013.08.266
- Schwartz, C. E., Durocher, J. J., & Carter, J. R. (2011). Neurovascular responses to mental stress in prehypertensive humans. *J Appl Physiol (1985)*, 110(1), 76-82. doi: 10.1152/japplphysiol.00912.2010
- Shah, S. A., Kambur, T., Chan, C., Herrington, D. M., Liu, K., & Shah, S. J. (2013). Relation of short-term heart rate variability to incident heart failure (from the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *Am J Cardiol*, 112(4), 533-540. doi: 10.1016/j.amjcard.2013.04.018

- Shin, Y. S., & So, W. Y. (2012). Association between Physical Inactivity and Academic Record in Korean Adolescents. *Iran J Public Health*, 41(10), 36-42.
- Sorof, J. M., Poffenbarger, T., Franco, K., Bernard, L., & Portman, R. J. (2002). Isolated systolic hypertension, obesity, and hyperkinetic hemodynamic states in children. *J Pediatr*, 140(6), 660-666. doi: 10.1067/mpd.2002.125228
- Sukhonthachit, P., Aekplakorn, W., Hudthagosol, C., & Sirikulchayanonta, C. (2014). The association between obesity and blood pressure in Thai public school children. *BMC Public Health*, 14, 729. doi: 10.1186/1471-2458-14-729
- Taelman, J., Vandeput, S., Vlemincx, E., Spaepen, A., & Van Huffel, S. (2011). Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work. *Eur J Appl Physiol*, 111(7), 1497-1505. doi: 10.1007/s00421-010-1776-0
- Tharion, E., Parthasarathy, S., & Neelakantan, N. (2009). Short-term heart rate variability measures in students during examinations. *Natl Med J India*, 22(2), 63-66.

Thayer, J. F., & Sternberg, E. (2006). Beyond heart rate variability: vagal regulation of allostatic systems. *Ann N Y Acad Sci, 1088*, 361-372.

doi: 10.1196/annals.1366.014

Tremblay, M. S., Shields, M., Laviolette, M., Craig, C. L., Janssen, I., & Connor Gorber, S. (2010). Fitness of Canadian children and youth: results from the 2007-2009 Canadian Health Measures Survey.

*Health Rep, 21*(1), 7-20.

Triposkiadis, F., Ghiokas, S., Skoularigis, I., Kotsakis, A., Giannakoulis, I., & Thanopoulos, V. (2002). Cardiac adaptation to intensive training in prepubertal swimmers. *Eur J Clin Invest, 32*(1), 16-23.

Trudeau, F., & Shephard, R. J. (2008). Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *Int J Behav Nutr Phys Act, 5*, 10. doi: 10.1186/1479-5868-5-10

Trueb, L., Lepori, M., Duplain, H., Scherrer, U., & Sartori, C. (2012). Nitric oxide mediates the blood pressure response to mental stress in humans. *Swiss Med Wkly, 142*, w13627. doi: 10.4414/smw.2012.13627

- Tsuji, H., Venditti, F. J., Jr., Manders, E. S., Evans, J. C., Larson, M. G., Feldman, C. L., & Levy, D. (1996). Determinants of heart rate variability. *J Am Coll Cardiol*, 28(6), 1539-1546.
- Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., & Atkinson, M. (1998). Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *J Am Coll Cardiol*, 31(3), 593-601.
- von Eiff, A. W., Gogolin, E., Jacobs, U., & Neus, H. (1985). Heart rate reactivity under mental stress as a predictor of blood pressure development in children. *J Hypertens Suppl*, 3(4), S89-91.
- Waller, K., Kujala, U. M., Kaprio, J., Koskenvuo, M., & Rantanen, T. (2010). Effect of physical activity on health in twins: a 30-yr longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc*, 42(4), 658-664. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181bdeea3
- Wannamethee, S. G., & Shaper, A. G. (2002). Physical activity and cardiovascular disease. *Semin Vasc Med*, 2(3), 257-266. doi: 10.1055/s-2002-35400
- Wen, C. P., Wai, J. P. M., Tsai, M. K., Yang, Y. C., Cheng, T. Y. D., Lee, M. C., . . . Wu, X. F. (2011). Minimum amount of physical activity

for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *Lancet*, 378(9798), 1244-1253. doi: Doi 10.1016/S0140-6736(11)60749-6

Werner, B., Piorecka-Makula, A., & Bobkowski, W. (2013). Heart rate variability in children with aortic valve stenosis - a pilot study. *Arch Med Sci*, 9(3), 535-539. doi: 10.5114/aoms.2013.34880

West, S. G., Brownley, K. A., & Light, K. C. (1998). Postexercise vasodilatation reduces diastolic blood pressure responses to stress. *Annals of Behavioral Medicine*, 20(2), 77-83. doi: Doi 10.1007/Bf02884452

Williams, P. T. (2001). Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 754-761.

Williams, P. T. (2013). Dose-response relationship of physical activity to premature and total all-cause and cardiovascular disease mortality in walkers. *PLoS One*, 8(11), e78777. doi: 10.1371/journal.pone.0078777

Yataco, A. R., Fleisher, L. A., & Katzel, L. I. (1997). Heart rate variability and cardiovascular fitness in senior athletes. *Am J Cardiol*, 80(10), 1389-1391.

Yoshikawa, T., Baba, A., Akaishi, M., Mitamura, H., Ogawa, S., Suzuki, M., . . . Investigators, K. I. C. S. K. (1999). Neurohumoral activations in congestive heart failure: Correlations with cardiac function, heart rate variability, and baroreceptor sensitivity. *Am Heart J*, 137(4), 666-671. doi: Doi 10.1016/S0002-8703(99)70220-6

**APPENDICE A**

**QUESTIONNAIRE SUR L'INTENSITÉ DE LA DEMANDE**

**COGNITIVE**

## QUESTIONNAIRE SUR LA DEMANDE COGNITIVE DE LA TÂCHE

Consignes : Place une marque sur chaque ligne à l'endroit qui selon toi convient le mieux pour exprimer ce que tu as ressenti durant cette tâche.

(Exemple : Faible ————— | ————— Élevée)

1.

*Est-ce que le travail était pour toi plutôt facile, simple ou difficile?*



Facile



Difficile

Consignes : Place une marque sur chaque ligne à l'endroit qui selon toi convient le mieux pour exprimer ce que tu as ressenti durant cette tâche.

(Exemple : Faible ————— | —————— Élevée)

2.

*Es-tu plutôt mécontent du travail que tu as réalisé ou satisfait?*



Mécontent



Satisfait

Consignes : Place une marque sur chaque ligne à l'endroit qui selon toi convient le mieux pour exprimer ce que tu as ressenti durant cette tâche.

(Exemple : Faible ————— | —————— Élevée)

3.

*Est-ce que tu as fourni un peu ou beaucoup d'effort durant le travail?*



Peu



Beaucoup