

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 (3407)

Par
François Boucher

EFFETS DE L'OBESITÉ PRÉCOCE SUR LE CONTRÔLE DE LA
POSTURE ET DU MOUVEMENT LORS D'UNE TÂCHE DE POINTAGE.

AOÛT 2014

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

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Ce mémoire a été dirigé par :

Olivier Hue, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
directeur de recherche, grade	Rattachement institutionnel

codirecteur de recherche, grade (enlever si non requis)	Rattachement institutionnel
------------------------------------------------------------	-----------------------------

Jury d'évaluation du mémoire :

Claude Dugas, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

Grant Handrigan, PhD	Université de Moncton
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

Olivier Hue, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

Avant-propos

En tant que père de famille et enseignant en éducation physique, le sujet de l'obésité précoce est une problématique qui me touche personnellement. C'est un sujet qui reste cependant tabou dans notre société, même s'il est de plus en plus médiatisé et présent dans la littérature scientifique. Or de nombreux points demeurent peu étudiés et méritent notre attention afin de mieux comprendre les effets de l'obésité sur la santé.

Résumé

Introduction: La surcharge corporelle ou l'obésité sont liées à un excès anormal de masses grasses et sont associées à de nombreuses conditions aggravantes de la santé (Kopelman, 2000). Or au Canada en 2004, un enfant sur quatre âgé entre 6 et 11 ans présente une surcharge pondérale (dont 1 sur 3 est obèse). Plus inquiétant, 6% des enfants âgés entre 2 et 5 ans sont obèses alors qu'en 1978 aucun ne l'était (Statistique Canada, 2004). Cette problématique a des conséquences importantes sur la santé de la population. En effet, de récents travaux montrent que l'obésité diminue l'efficacité des mécanismes de contrôle de la posture et du mouvement chez l'adulte testé en position debout (Berrigan et al., 2006 ; Teasdale et al., 2007 ; Hue et al., 2007) et chez l'enfant (D'hondt et al., 2008; D'Hondt et al., 2011). Cependant, aucune étude n'a abordé la problématique du facteur poids corporel sur des tâches motrices fonctionnelles en relation avec le contrôle postural chez l'enfant réalisées en posture debout et assise.

Matériels et Méthode: Un groupe contrôle (n=12, sans excès de poids) et un groupe expérimental (n=11, obèse) ont été soumis à un paradigme de double tâche (tâche primaire: posture debout et assise; tâche secondaire: tâche de pointage vers des cibles de 1 et 5 cm de largeur). Tous les enfants âgés entre 8 et 10 ans ont réalisé 20 pointages (5

essais par condition posturale et par largeur de cible). Le temps de mouvement (TM) et les phases d'accélération et de décélération au niveau de la main ont été mesurés pour quantifier le pointage par un système d'acquisition du mouvement (Optotrak Certus). Les forces de réaction au sol ont été analysées afin d'observer la stabilité posturale par le déplacement du centre des pressions plantaires.

Résultats: Tant pour le pointage que pour la posture debout, les enfants obèses ont montré des résultats significativement différents à ceux des enfants de poids santé. Plus spécifiquement et pour la tâche de pointage, la durée de la phase de décélération était significativement plus longue chez les enfants obèses.

Conclusion: Les enfants obèses ont besoin de plus de temps alloué à la phase de correction du mouvement lors de l'approche d'une cible à atteindre en posture debout. Dans le contexte de la double tâche, ce traitement central nécessaire au contrôle du mouvement coûte plus en ressources attentionnelles. Ce coût supplémentaire peut être expliqué par une diminution de l'attention allouée au contrôle de la posture et qui se traduit par une diminution de la stabilité posturale, cette dernière étant accentuée par l'effet du poids corporel.

Mots clés : Obésité précoce, enfants, tâche de pointage, stabilité posturale et mouvement.

Remerciements

J'aimerais remercier mon directeur, M. Olivier Hue, pour sa compréhension et son investissement dans ce projet. Il m'a prodigué de très bons conseils qui m'ont permis de mener ce projet à terme.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet.

Enfin, je suis reconnaissant à ma famille qui m'a supporté dans différents aspects et à Marie-Josée, ma conjointe, pour son support.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	i
RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	iv

CHAPITRES

I. INTRODUCTION.....	6
II. OBÉSITÉ CHEZ L'ENFANT.....	9
III. POSTURE ET OBÉSITÉ PRÉCOCE.....	14
IV. MOUVEMENT DE POINTAGE ET OBÉSITÉ PRÉCOCE.....	20
V. PROBLÉMATIQUE.....	27
VI. HYPOTHÈSE.....	28
VII. ARTICLE.....	30
VIII. CONCLUSION GÉNÉRALE	57
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	59

CHAPITRE I

Introduction

L'obésité est un problème de santé publique et est décrite comme étant une épidémie dans les pays industrialisés, voire une pandémie (Ogden et al., 2006). Cette problématique a des conséquences importantes sur la santé de la population. En effet, l'obésité se caractérise par de nombreuses co-morbidités qui affectent autant la sphère physiologique (cancer, hypertension, diabète, maladies cardiovasculaires, apnée du sommeil) que psycho-affective (dépression, estime de soi, sentiment de compétence, troubles alimentaires impulsifs) qui vont détériorer la qualité de vie (Kopelman, 2000). Plusieurs de ces complications de santé sont également rapportées maintenant chez l'enfant obèse précocement (Burke, 2006; Daniels, 2006; Must & Strauss, 1999).

Les données démographiques et épidémiologiques ont montré que l'obésité n'était plus une condition exclusive aux adolescents et aux adultes. En 2004, 6% des enfants âgés entre 2 et 5 ans, sont obèses alors qu'en 1978 aucun ne l'était. De plus, un enfant sur quatre âgé entre 6 à 11 ans, présente une surcharge pondérale dont le tiers est obèse (Statistique Canada, 2004).

Le développement et l'apprentissage moteur des enfants sont influencés par différents facteurs intrinsèques et extrinsèques. La problématique de l'obésité précoce amène des interrogations quant aux effets de ce type de contrainte corporelle sur le développement moteur et l'acquisition des habiletés motrices. En effet, de récents travaux montrent que l'obésité diminue l'efficacité des mécanismes de contrôle de la posture et du mouvement chez l'adulte (Berrigan et al., 2006a; Teasdale et al., 2007 ; Hue et al., 2007). Ainsi, la problématique du facteur poids corporel et de ses effets sur l'exécution de tâches motrices fonctionnelles en relation avec le contrôle postural chez l'enfant a été clairement identifiée, et ce, lorsque le développement moteur a atteint une première étape de maturité à partir de 6-7 ans (Graf et al., 2004 ; D'Hondt et al., 2008; Deforche et al., 2009; D'Hondt et al., 2009; D'Hondt et al., 2011; D'Hondt et al., 2013; Gentier et al., 2013). La plupart de ces études ont investigué l'effet de l'obésité sur la motricité globale, et certaines, la motricité fine. Cependant, la relation entre l'obésité et l'exécution de tâches motrices demandant précision et vitesse selon différents seuils de difficultés en position assise et debout n'a pas été investiguée chez l'enfant, contrairement chez l'adulte (Berrigan et al., 2006a; Berrigan et al., 2008).

Ce travail a donc pour but d'observer les effets de l'obésité précoce sur l'exécution d'une tâche de pointage demandant précision et vitesse

réalisée dans deux contextes posturaux différents, soit en position assise et debout.

CHAPITRE II

Obésité chez l'enfant

Le surpoids et l'obésité correspondent à un excès anormal de masse grasse et sont associés à de nombreuses conditions aggravantes de la santé chez l'adulte (facteurs de co-morbidité). Les enfants ayant un indice de masse corporelle > 85^{ième} percentile, versus ceux qui ont indice de masse corporelle < 50^{ième} percentile seront plus enclin à continuer à prendre du poids à l'adolescence, et de ce fait, être affectés par les mêmes problèmes de santé que l'adulte (Statistique Canada, 2004).

Au Canada en 2004, le taux combiné d'embonpoint et d'obésité était supérieur d'environ 70% à celui rapporté de 1978 à 1979. L'obésité chez les adolescents de 12 à 17 ans a triplé depuis les 25 dernières années. De plus, un enfant sur quatre âgé entre 6 et 11 ans, présente une surcharge pondérale (dont 1 sur 3 est obèse). Plus inquiétant, 6% des enfants âgés entre 2 et 5 ans sont obèses alors qu'en 1978 aucun ne l'était (Statistique Canada, 2004).

En 1978 à 1979, 12% des enfants et adolescents âgés entre 2 à 17 ans présentaient de l'embonpoint et 3% étaient obèses, donnant un taux combiné d'embonpoint et d'obésité de 15%. En 2004, le taux d'embonpoint pour ce groupe d'âge s'établissait à 18% (soit environ 1,1 million d'individus) et le taux d'obésité atteignait 8% (environ un demi-

million d'individus), donnant un taux combiné de 26% (Statistique Canada, 2004).

La définition de l'excès de poids, ou embonpoint, et de l'obésité est fondée sur l'indice de masse corporelle (IMC), c'est-à-dire une mesure qui tient compte de la taille et du poids ($IMC = \text{poids en kilogramme} / \text{carré de la taille exprimée en mètres}$). Pour classer les personnes adultes de 18 ans et plus dans la catégorie de l'embonpoint et celle de l'obésité, les seuils d'IMC utilisés sont respectivement, 25 et 30. Ils sont déterminés d'après les risques pour la santé associés au fait de se trouver dans l'une de ces catégories de poids. Pour les enfants et les adolescents, les seuils sont plus bas et tiennent également compte de l'âge. Chez les enfants âgés de 8 à 10 ans, le seuil d'IMC de 24 et plus définit la catégorie de l'obésité de type 2. Tandis que les enfants du même âge, qui se situent entre 18,5 à 20 et 21,5 à 24, sont classés dans les catégories d'embonpoint et d'obésité de type 1 (Statistique Canada, 2004).

L'émergence réelle de cette problématique de santé publique reliée à l'obésité précoce est questionnable puisqu'une étude longitudinale montre que les enfants obèses précocement restent obèses après l'âge de 12 ans dans une cohorte de 1042 enfants suivis de la naissance jusqu'à 12 ans (Nader et al., 2006). La projection des statistiques de 2004, soit 7,4% d'enfant obèse avant 12 ans, à celles de 2012, environ

un demi-million d'enfants resteront obèses même en supposant que le pourcentage d'enfants obèses ne fluctuera pas. Cette projection reste une supposition, car à notre connaissance, aucune autre enquête n'a été produite sur la santé dans les collectivités canadiennes depuis 2004.

Par ailleurs, l'obésité chez l'adulte n'affecte pas seulement la santé physiologique. En effet, les adultes obèses ont une diminution de l'efficacité des mécanismes du contrôle de la posture et du mouvement en posture debout et assise (Berrigan et al., 2006a; Teasdale et al., 2007; Hue et al., 2007; Berrigan et al., 2008). Une diminution de la coordination inter-segmentaire requise dans une tâche de vitesse/précision est également observée. Une surcharge pondérale serait donc une contrainte pour la réalisation des habiletés motrices fondamentales (Berrigan et al., 2006a). De plus, la surcharge corporelle est un bon élément de prédiction de la stabilité posturale. L'adulte en surcharge corporelle excessive montre une vitesse de déplacement du centre de pression plantaire plus rapide que l'adulte de poids santé et pourrait être exposé à un plus grand risque de chuter (Teasdale et al., 2007; Hue et al., 2007).

L'obésité affecte aussi les adolescents. En position debout quasi statique, les adolescents obèses sont plus instables que les adolescents à poids santé. Il leur est aussi plus difficile de contrôler leur stabilité lorsqu'ils se penchent vers l'avant ou l'arrière comparativement aux

adolescents de poids santé (Cloné et al., 2008). Les adolescentes ont beaucoup plus de difficultés à contrôler leur stabilité en position debout quasi-statique sur un support en mousse que les adolescentes de poids santé. Le contrôle postural des adolescentes obèses serait donc influencé par des contraintes externes surtout lorsque la surface de contact au sol est perturbée par un bloc de mousse proprioceptive (Bernard et al., 2003).

Des études ont montré que les enfants obèses obtenaient des résultats inférieurs au test «Körperkoordinationstest für Kinder» (KTK; Kiphard et Schilling, 1974). Le KTK évalue donc des tâches motrices qui interpellent l'équilibre, l'organisation spatiale et temporelle, la coordination des membres inférieurs et la vitesse d'exécution du mouvement, notions fondamentales associées à l'acquisition d'habiletés motrices au cours du développement moteur chez les enfants. Ce test a pour objectif d'identifier des comportements moteurs anormaux en fonction d'une moyenne de référence établie chez des enfants sans trouble ou retard de développement. Dans cette étude, les enfants obèses, âgés de 7 à 9 ans, ont obtenu un pointage total de $55,15 \pm 15,66$ comparativement à $113,29 \pm 21,63$ pour les enfants de poids santé du même âge. Une grande différence a été observée chez les enfants de 10 à 13 ans où les enfants obèses obtiennent un pointage de $56,60 \pm 11,87$ et de $108,40 \pm 6,35$ pour les enfants de poids santé (D'Hondt et al., 2011).

Une autre étude confirme que les enfants obèses montrent des performances inférieures dans les tâches de motricité globale que les enfants en poids santé. Ces auteurs ont aussi observé l'effet de l'obésité sur des tâches de motricité fine. Les enfants obèses ont eu de moins bons résultats dans une seule tâche. Dans cette tâche de dextérité manuelle, les enfants devaient transférer une pièce de monnaie d'un endroit à un autre le plus rapidement possible (Gentier et al., 2013). Les résultats et le protocole de cette étude sont comparables à une autre étude, où les enfants devaient déplacer des bâtonnets de bois d'un emplacement à un autre le plus rapidement possible. Les résultats ont montré que les enfants obèses prenaient plus de temps à transférer les objets que les enfants sains (D'Hondt et al., 2008). Ainsi, l'obésité affecte le contrôle de la posture et du mouvement ainsi que le développement moteur et l'acquisition d'habiletés motrices.

CHAPITRE III

Posture et obésité précoce

Le contrôle de l'équilibre fait partie du développement moteur qui s'achève lors de la maturation du système nerveux central (SNC) et la mise en place des fonctions motrices nécessaires à l'exécution de nos activités de la vie quotidienne ainsi qu'à l'acquisition des habiletés motrices. Nos habiletés motrices sont acquises par la pratique et se caractérisent par des objectifs, comme la précision du mouvement, l'économie d'énergie, la vitesse d'exécution, etc...

L'évolution du contrôle de la posture est une particularité de base ou fondamentale du développement moteur dans l'objectif de réaliser des activités de la vie quotidienne (Assaiante, 1998; Assaiante et al., 2005; Schmid et al., 2005). La position verticale du corps est le premier fondement du rôle de la posture. Elle caractérise l'espèce humaine. L'attitude corporelle du corps humain est une interaction entre les différents segments corporels. Le deuxième fondement est que le mouvement est directement relié à la posture et son équilibre. Sans la posture et son contrôle, le mouvement humain serait inexistant. Le contrôle postural est directement proportionnel à la complexité du mouvement, ainsi, plus le mouvement est complexe, plus l'ajustement

du contrôle postural devra suivre cette complexité (Horak & Nashner, 1986).

Le contrôle de la posture est un facteur essentiel à la réalisation de nos habiletés motrices. La posture est le support de toutes nos actions motrices et la réalisation des activités de la vie quotidienne. Le développement du contrôle de la posture passe par plusieurs étapes importantes. La stabilité posturale est la capacité de maintenir une posture tout en soutenant le point d'équilibre du corps, soit le centre de gravité à l'intérieur de la base de support (Duysens et al., 2000; Horak et al., 1989; Nashner et al., 1989).

La relation entre le système visuel, vestibulaire et somato-sensoriel exerce une interaction qui permet l'équilibre postural (Massion, 1994). Le système visuel permet d'organiser nos mouvements tout en évitant les obstacles de l'environnement auxquels nous devons faire face. Les accélérations linéaires et angulaires sont perçues par le système vestibulaire qui interagit avec le système musculo-squelettique dans le but de maintenir la stabilité posturale (Ivanenko et al., 1997). Enfin, la multitude de récepteurs du système somato-sensoriel va réagir à la position et au mouvement des segments du corps selon différentes situations dans le même objectif, le contrôle postural (Winter, 1995).

L'acquisition du contrôle postural se développe fortement entre 6 et 10 ans. Le développement du contrôle postural n'est pas linéaire. Une

diminution de l'amplitude et de la vitesse d'oscillations posturales lors des différentes étapes de sa maturation est observée (Assaintes et al., 2005; Rival et al., 2005). Dans le développement moteur, le système somato-sensoriel évoluera vers sa maturité et influencera en premier la stabilité posturale vers l'âge de 4 à 6 ans et atteindra son plein potentiel vers 7 à 10 ans. L'importance du système visuel suivra vers l'âge de 7 à 8 ans tandis que le système vestibulaire prendra plus de temps à se développer (Nolan et al., 2005).

Lors de l'évolution posturale, les enfants de 4 à 7 ans vont prioriser une stratégie en bloc lors de l'exécution de mouvements et pendant la locomotion. Dans cette stratégie, le corps se divise en trois blocs (les jambes, le tronc et la tête) afin de faciliter la régulation de la stabilité posturale (Assaintes et al., 2005).

Entre l'âge de 7 à 8 ans apparaît une période de transition. À ce moment, le contrôle postural évolue et les informations visuelles prennent une plus grande importance dans la gestion de l'équilibre postural (Assaintes et al., 2005). Par la suite, vers l'âge de 10 ans, les expériences motrices acquises font que le contrôle postural ressemble de plus en plus à celui observé chez l'adulte sain dans un environnement sans perturbation (Assainte et al., 2005). Cependant, les enfants sains réagissent avec de plus grandes corrections et plus rapidement pour corriger leur posture (Rival et al., 2005).

Les adultes et les adolescents obèses en position debout quasi-statique montrent de plus grandes oscillations du centre de pression plantaire et ce, tant au point de vue de la fréquence que de l'amplitude des oscillations comparativement à des sujets sains (Bernard et al., 2003; Berrigan et al., 2006a; Colné et al., 2008; Mignardot et al., 2010). Deux hypothèses ont été émises pour expliquer pourquoi l'obésité affecte le contrôle de la posture. Une première hypothèse de nature plus mécanique stipulerait qu'une inertie corporelle plus importante exige des forces musculaires plus grandes pour stabiliser le corps afin de minimiser les déplacements du centre de masse (CM) à l'intérieur de la base de support et de réduire les régulations posturales nécessaires au maintien de l'équilibre postural. Ainsi, les personnes obèses ont des contraintes corporelles beaucoup plus importantes que les personnes à poids santé lors de la régulation posturale. Le corps est en équilibre lorsque le vecteur poids passant par le CM est aligné avec le vecteur de la force de réaction au sol du centre de pression (CP). L'alignement idéal du CM et du CP se fait légèrement devant l'axe de rotation des chevilles. Dans cette hypothèse mécanique, les conséquences d'une distribution anormale de la masse grasse dans la région abdominale sont d'augmenter le poids corporel au dessus du CP et un déplacement antérieur du CM versus l'axe de rotation des chevilles. L'effet négatif de ces deux situations, la surcharge et le déplacement du CM, affecte le

processus de stabilisation, et surtout suite à une perturbation augmentant la difficulté à maintenir l'équilibre posturale, selon le modèle du pendule inverse (Corbeil et al., 2001).

Les afférences plantaires informent sur les conditions d'appui et participent au contrôle postural. Les individus en surpoids montrent des pressions plantaires dépendantes du poids corporel et des pics de pression de 40 à 45% plus importants pour huit régions anatomiques du pied en posture debout comparés à ceux de poids normal et, exceptées sous les orteils, des forces plus importantes sous toute la surface du pied (Hill et al., 2002). Les enfants prépubères obèses montrent un angle d'empreinte plantaire plus affaissée de façon significative que les enfants prépubères de poids santé. De plus, ils présentent un pic moyen des pressions dynamiques de l'avant-pied supérieur aux enfants à poids santé (Dowling et al., 2001). Or, une pression exercée par un stimulus constant au niveau des mécanorécepteurs de la paume de la main chez le singe affecte leurs afférences (Bensmaïa et al., 2005). À notre connaissance, les hypothèses émises n'ont pas été validées (altération physique de la structure des mécanorécepteurs ou saturation de leur seuil d'activation) ni investiguées au niveau du pied. Ainsi, la deuxième hypothèse sensorielle stipulerait qu'une surcharge corporelle exerçant une pression importante sur la voûte plantaire affecte les afférences des

mécanorécepteurs et perturbe leur intégration par les mécanismes de contrôle et de régulation de la posture (Hue et al., 2007; Teasdale et al., 2007). Comme chez l'adulte, la surcharge pondérale augmente la pression sur la plante des pieds chez les garçons de 8 à 10 ans. Cela a pour effet de diminuer la capacité sensorielle du pied qui contribue à la stabilité posturale sur une courte période les yeux fermés (McGraw et al., 2000). Lors d'une période de temps prolongée en position debout quasi statique augmenterait les risques de chute d'enfants obèses. Cette condition lors de la marche affecterait d'avantage le contrôle postural que le positionnement des pieds et que de l'analyse des contraintes visuelles chez les enfants obèses (Nantel et al., 2011). Une surcharge pondérale peut être considérée comme un facteur altérant la sensibilité des récepteurs. Donc, la discrimination neurophysiologique des mécanorécepteurs peut être affectée par un stimulus constant comme la surcharge pondérale (Bensmaïa et al., 2005).

Par ailleurs, la marche est directement reliée à la posture. Le schéma de marche est modifié chez des enfants présentant de l'obésité. Les enfants obèses réduisent leur cadence et leur vitesse de marche. Ce qui a pour effet d'augmenter la durée de la phase d'appui du cycle de la marche. Les enfants obèses dépensent plus d'énergie lors d'une marche à la même vitesse. Donc, ils montrent une efficacité inférieure lors de la marche que les enfants sains (Nantel et al., 2011).

CHAPITRE IV

Mouvement de pointage et obésité précoce

Le contrôle moteur est assuré par le SNC qui coordonne le système neuromusculaire par plusieurs activations musculaires dans le but d'atteindre des mobilisations articulaires. L'acquisition du mouvement va se faire dans le sens céphalo-caudal et proximo-distal. L'apparition de mouvements volontaires se fera lorsque les réflexes primitifs disparaîtront (Schmidt & Lee, 1988; Rigal, 1995). En fonction du développement moteur, de l'apprentissage moteur et des contraintes environnementales, le SNC va gérer la production et le contrôle du mouvement à l'aide de nombreuses stratégies. La vitesse et la précision sont deux variables dépendantes de la programmation du mouvement et de la commande motrice (Berrigan et al., 2006b).

La coordination oculo-manuelle est interpellée lors d'un mouvement de pointage. Elle est définie par la relation entre le système sensori-moteur (les yeux, la tête et les mains) et le système postural (Saavedra et al., 2007). Le membre supérieur est contraint à deux phases principales pour atteindre une cible. La première phase est de type balistique, ce qui permet d'atteindre rapidement la cible communément appelé la phase d'accélération. La seconde phase est la

phase de décélération où interviennent les afférences sensorielles (vision et proprioception), ce qui contribue à la finalisation du mouvement (Bioulac et al., 2005).

Les recherches actuelles montrent l'existence d'un modèle interne de reproduction du mouvement lors de son exécution. Cette représentation permet à l'individu d'indiquer la position de la main ce qui a pour effet de compenser le délai sensoriel de la rétroaction des informations visuelles. Ce processus implique, lors de l'exécution du mouvement de la main, une rétroaction continue ce qui a comme résultante de contrôler le mouvement du début jusqu'à la fin (Saunders & Knill, 2003; Saunders & Knill, 2005).

Des contraintes sont présentes lors d'une action et d'une réaction impliquant un mouvement objet-direction dans la tâche de pointage. Ces contraintes (vitesse et précision) de la tâche amènent une complexification du mouvement qui est présentée par un temps d'exécution plus élevé et par une action motrice plus incertaine. Fitts (1954) a montré le lien entre le temps d'exécution du mouvement (TM), la largeur de la cible et la distance à parcourir pour atteindre celle-ci. Ce lien est représenté par un indice de difficulté (ID). Ainsi, plus la cible est petite, plus le TM est long. Cette relation entre TM et ID montre que l'analyse de l'information (rétroaction) est un système à capacité limitée. Les temps entre les différents sujets s'expliquent par cette corrélation

entre les différents systèmes lors de l'exécution du mouvement qui est définie par l'augmentation du TM et l'incertitude de l'action motrice. La pente des résultats permet d'identifier la stratégie utilisée par les sujets selon l'ID. Les valeurs de la pente sont acquises pour toutes les conditions expérimentales de l'équation : $TM = a + b [\log_2 (2D/L)]$. L'équation entre les crochets constitue l'indice de difficulté, où (L) représente la largeur de la cible et (D) la distance entre les cibles. Dans cette fonction linéaire (a) équivaut à Y lorsque celui-ci croise l'axe des ordonnées tandis que (b) représente les valeurs de la pente de la droite (Fitts, 1954). Dans une hypothèse sur la planification, lors d'une tâche de pointage, les stratégies utilisées (le contrôle et la rétroaction du mouvement) seraient différentes selon la grosseur des cibles (Proteau & Isabelle, 2002).

Pour ce type de mouvement de pointage, le développement cognitif de l'enfant et sa capacité à faire face à ces différents indices de difficulté et sa compréhension des consignes est admise (Choudhury et al., 2007; Lambert & Bard, 2005; Smits-Engelsman et al., 2003). Dans l'objectif d'atteindre différentes grosseurs de cibles, les résultats montrent que les enfants n'ont pas de difficulté à visualiser et à planifier l'exécution du mouvement (Lhuisset & Proteau, 2004).

À ce jour, chez les enfants, la tâche de pointage est plus souvent exécutée en position assise. Le développement moteur montre qu'entre

5 à 7 ans, l'enfant en situation de double tâche (sollicitant un mouvement de pointage et la stabilité posturale en posture assise), n'a pas la maturité motrice d'isoler le mouvement des yeux face à ceux de la tête lors de la visualisation d'une cible. Ce mouvement arrière-avant de la tête provoque un déplacement du centre de masse. Il y a une nette amélioration vers l'âge de 7 à 10 ans mais l'efficacité oculo-manuelle (vitesse, précision et stabilité posturale) apparaît entre 10 à 15 ans (Saavedra et al., 2007). Dans une situation de double tâche, la performance de l'exécution d'un mouvement du membre supérieur est altérée par le contrôle postural selon l'indice de difficulté de la tâche (Berrigan et al., 2006b).

L'obésité est une contrainte mécanique lors de la gestion du mouvement, ce qui affecte les paramètres de réalisation d'un mouvement chez l'adulte (Berrigan et al., 2006a). En effet, l'obésité diminue l'efficacité des mécanismes de contrôle de la posture et du mouvement chez l'adulte testé en position debout lors d'une tâche de pointage demandant vitesse et précision. Cette efficacité est représentée par différents résultats lors de l'exécution de cette tâche. Elle est plus remarquée lorsque l'ID est de 5,9 et 6,9. Le TM (ID=6,9) pour les adultes obèses est de 0,669 sec comparativement à 0,48 sec pour les adultes à poids santé et remarque aussi un temps de décélération (ID=6,9) plus élevé chez les obèses de 124 msec que le groupe à poids santé. Lors de

cette exécution les adultes obèses déplacent leurs épaules vers la cible de 103,4 mm versus 67,1 mm pour le groupe à IMC normal. Les résultats montrent que les mécanismes du contrôle de la posture sont altérés lors de l'exécution du mouvement. Dans cette tâche, le TM augmente pour les deux groupes lorsque l'on augmente l'ID (Berrigan et al., 2006a) et affecte également l'utilisation des ressources attentionnelles nécessaires aux différentes étapes du contrôle de la posture et du mouvement (Mignardot et al., 2010).

Chez l'enfant, seuls des tests psychomoteurs de motricité globale et de dextérité manuelle ou de stabilité posturale en station debout ont été réalisés (D'Hondt et al., 2008; D'Hondt et al., 2011) et montrent des performances inférieures chez les enfants obèses. Avec le «Movement Assessment Battery for Children» (MABC) (Henderson & Sugden, 1992) qui se compose de huit épreuves selon l'âge, réunies en trois catégories (dextérité manuelle, maîtrise du ballon et de l'équilibre statique et dynamique). Les résultats ont montré que l'obésité infantile est associée à un pointage supérieur aux tests du MABC comparativement à la population infantile de poids santé (D'Hondt et al., 2009). Dans un autre test de motricité (KTK), l'obésité infantile est associée à un pointage inférieur. Des enfants obèses, âgés de 7 à 9 ans, ont obtenu un pointage total de $55,15 \pm 15,66$ versus $113,29 \pm 21,63$ pour les enfants de poids santé du même âge. Nous observons la même relation chez les

enfants de 10 à 13 ans où les enfants obèses obtiennent un pointage de $56,60 \pm 11,87$ et de $108,40 \pm 6,35$ pour les enfants de poids santé (D'Hondt et al., 2011). L'obésité affecte la motricité fine chez les enfants puisque des enfants obèses sont moins performants que des enfants à poids santé lors du déplacement d'objet demandant vitesse et précision. Dans cette tâche de motricité fine demandant vitesse et précision, les enfants devaient déplacer des chevilles de bois d'une extrémité d'un panneau à une autre extrémité. Des touts étaient présents afin de recevoir les chevilles en bois. L'objectif était d'effectuer le plus de transferts possibles en 30 secondes. Chaque cheville de bois placée à l'intérieur du temps alloué donnait un point. En position debout, les enfants obèses montrent un pointage significativement moins élevé que les enfants à poids santé (D'Hondt et al., 2008; Gentier et al., 2013).

De plus, une étude longitudinale montre qu'après deux ans les résultats au test de motricité globale (KTK) des enfants obèses restent inférieurs (pointage total de 88,14) à ceux des enfants à poids santé (pointage total de 110,30). Lors de cette étude, l'écart a augmenté entre les deux groupes durant ces deux ans. Il était de 15,74 et il est passé à 22,16 (pointage total enfants sains – pointage total enfants obèses). La compétence des enfants obèses aux tâches de motricité globale ne s'est pas améliorée après deux ans, avec une faible augmentation de 1,76

point sur le pointage total versus une augmentation de 8,18 pour les enfants sains (D'Hondt et al., 2013). Après 4 mois d'entraînement et une perte de poids, les enfants obèses ont amélioré leurs résultats au test KTK, mais n'ont pu montrer des performances comparables à celles des enfants sains (D'Hondt et al., 2011).

CHAPITRE V

Problématique

Plusieurs travaux ont investigué les effets de l'obésité précoce sur le contrôle de la posture et du mouvement. Mais, ils n'expliquent pas l'inefficience des mécanismes du contrôle de la posture et du mouvement en présence de surcharge pondérale. Il reste plusieurs aspects de la motricité et du développement moteur à investiguer, comme la production du mouvement et son contrôle dans différents contextes posturaux. L'objectif de cette recherche est de documenter la contribution du poids corporel et de ses effets sur la posture et le mouvement chez les enfants.

Afin d'étudier les effets de l'obésité précoce sur le contrôle de la posture et du mouvement, cette recherche évaluera l'exécution d'une tâche de pointage demandant vitesse et précision selon deux niveaux de difficulté réalisée en posture assise et debout chez des enfants de poids santé et obèses âgés entre 8 et 10 ans.

CHAPITRE VI

Hypothèse

Suite à la revue de littérature, les enfants obèses ont des résultats différents à ceux des enfants de poids santé dans différentes situations où la posture et le mouvement sont en jeu (Graf et al., 2004; D'Hondt et al., 2008; Deforche et al., 2009; D'Hondt et al., 2009; D'Hondt al., 2011; D'Hondt et al., 2013; Gentier et al., 2013). Les enfants obèses sont moins performants lors de déplacements spécifiques que les enfants de poids santé (D'Hondt et al., 2008). De plus, l'obésité affecte aussi la motricité fine chez les enfants. La coordination de la motricité globale est moins bonne chez les enfants obèses que chez les enfants de poids santé (D'Hondt et al., 2011). Ainsi, dans une situation de double tâche où les stratégies d'exécution motrices choisies et utilisées par les enfants obèses et sains seront quantifiées, les enfants obèses devraient présenter un TM supérieur et une stabilité posturale moins importante. En effet, la durée de la phase de décélération du mouvement de pointage, soit la finalisation du mouvement, devrait être particulièrement plus longue chez les enfants obèses en raison de l'inertie corporelle segmentaire plus importante à contrôler. Les enfants obèses devraient avoir besoin de plus de temps

alloué à cette phase, car celle-ci demanderait un temps de correction pour la précision lors de l'approche d'une cible plus important. Dans le contexte de cette double tâche, le traitement central nécessaire au contrôle du mouvement nécessiterait plus de ressources attentionnelles. Ce coût supplémentaire devrait se traduire par une diminution de l'attention allouée au contrôle de la posture, amenant ainsi une diminution de la stabilité posturale. Ce constat devrait être alors plus prononcé en posture debout qu'en posture assise, en raison d'une diminution de la contrainte posturale.

CHAPITRE VII

Article

Childhood obesity affects postural control and aiming performance

François Boucher¹, Grant A. Handrigan², Isabelle Mackrouts³, Olivier Hue¹

¹Département des sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières.

²École de kinésiologie et de loisir, Faculté des sciences de la santé et des services communautaires, Université de Moncton.

³Département de kinésiologie, Faculté de médecine, Université Laval.

Corresponding author address:

Olivier Hue

Groupe de recherche sur les affections neuro-musculo-squelettiques

Département des sciences de l'activité physique

Université du Québec à Trois-Rivières

3351 boulevard des Forges, CP 500

Trois-Rivières (Québec) Canada, G9A 5H7

Phone : (819) 376-5011 #3788 Fax : (819) 376-5092

E-mail : olivier.hue@uqtr.ca

Abstract

Background: Obesity reduces the efficiency of postural and movement control mechanisms. However, the effects of obesity on a functional motor task and postural control in standing and seated position have not been closely quantified among children.

Methods: Twelve healthy weight children (BMI between 13.3 and 17.9 kg/m²) and eleven obese children (BMI between 20.5 and 28.6 kg/m²) aged between 8 and 11 years pointed to a target in standing and seated position. The difficulty of the aiming task was varied by using 2 target sizes (1.0 and 5.0 cm width). Hand movement time (MT) and its phases (acceleration and deceleration duration) were measured to quantify the aiming task. Mean speed of the center of pressure displacement (COP speed) was calculated to assess postural stability during the movement.

Results: Obese children had significantly higher MTs compared to healthy-weight children in seated (103 ms higher for targets of 1.0 cm wide and 60 ms for targets of 0.5 cm wide) and standing (168 ms higher for targets of 1.0 cm wide) conditions explained by greater durations of deceleration phase when aiming. Concerning the COP speed during the movement, obese children showed significantly higher values when standing compared to healthy-weight children (3.2 cm/s greater for targets of 1.0 cm wide and 3.9 cm/s higher for targets of 5.0 cm wide). This was also observed in the seated position (6.6 cm/s greater for targets of 1.0 cm wide and 9.6 cm/s higher for targets of 5.0 cm wide).

Conclusion: Obesity adds a postural constraint during an aiming task in both seated and standing conditions and requires obese children to take more time to correct their

movements due to a greater postural instability of the body when pointing to a target with the upper-limb.

Key words: Childhood obesity; children; postural control; postural stability; movement.

Introduction

Obesity is a public health problem that has been described as epidemic, or even pandemic, in industrialized countries.¹ This problem has important consequences for the health of the population. Obesity is characterised by several co-morbidities affecting an individual's physiology (e.g., cancer, hypertension, diabetes, cardiovascular diseases, sleep apnea) and psychology (e.g., depression, self-esteem, eating disorders) which is detrimental to the quality of life.² Demographical and epidemiological data indicated that obesity is no longer a condition exclusive to adults or even teenagers. Childhood obesity is now a reality.³⁻⁵ Because motor learning and development are affected by intrinsic and extrinsic factors, childhood obesity invokes questions regarding the effect of obesity on motor development and motor skill acquisition.

Recent studies showed that obesity was linked with a reduced efficiency of mechanisms responsible for postural and movement control in standing position among adults.⁶⁻⁹ For instance, reduced postural stability while standing leads to longer movement time and deceleration phase during a goal-directed movement in obese.⁷ Furthermore, the impact of body weight on the execution of functional motor tasks relative to postural control among children have been well documented, particularly for the 6-7 year old age group, where motor development first reaches maturity.¹⁰⁻¹⁶ Many of these studies investigated the effect of obesity on gross motor skills such as walking backwards along balance beams of decreasing width, moving sideways on wooden boards, one-legged hopping over a foam obstacle, and two-legged jumping from side to side,¹⁷⁻¹⁸ or on fine motor skills such as a peg placing task.¹¹ However, the relationship between obesity and the

execution of motor tasks challenging the movement control at different difficulty levels realized in different postural context have not been closely documented among children, although it has been in adults.⁶⁻⁷

Therefore, the objective of this study is to examine the effects of obesity, in children, on the execution of aiming tasks requiring precision and speed, performed in two postural conditions (standing and seated).

Methods

Population

Twenty three children between 8 and 11 years old were recruited to participate in this study, with the consent of their parents. All consent forms were signed prior to study commencement. The experimental group (obese group) was composed of 11 children (8 boys and 3 girls) with a BMI over 20.5 kg/m^2 and the control group (healthy weight group) of 12 children (8 boys and 4 girls) with a BMI between 13.5 and 19.5 kg/m^2 and without pathology, disorder and/or incapacity. Weight status was classified using the age- and gender-specific BMI cut-off points for children of the International Obesity Task Force.¹⁹ Table 1 shows the biometric characteristics of the two groups. This study was approved by the ethical committee of the University of Québec at Trois-Rivières.

Apparatus and procedure

The execution of the aiming task (Figure 1) was assessed using a Fitts-like paradigm.^{6,20-}

²¹ A board, 25cm large, 45cm long and oriented in the horizontal plane, was positioned in front of the subject. There was a starting point in the center of the board and a target at 15 cm from the starting point. Participants were instructed to aim at the target using a stylus. The starting point, the target and the stylus were electrically connected and a voltage signal allowed the precise detection of both the onset and end (target contact) of the aiming movement. The board was at navel height and at a distance equal to the width of the hand of the participant. For the first postural condition, participants were standing on the force platform with their feet 8 cm apart in the designated areas, which

were drawn on the platform to ensure that the position of the feet were maintained during all trials. For the second postural condition, participants were seated on a chair positioned on the force platform. Each trial began with the participant holding the stylus between the index and the thumb of the dominant hand, with the stylus in contact with the starting point. At the auditory signal (256 Hz audio stimulus), participants were instructed to aim at the target as fast and as precisely as possible. For each trial, participants reached the target by extending the arm; no instruction was given regarding trunk positioning. Five practice trials were performed before the experimental session. During the experimental session, two target widths (1.0 and 5.0 cm) determining the *index of difficulty* (ID) of the aiming movement were used and randomly presented to the participants. Five trials were performed for each target size. A successful trial was designated as a trial where the participant reached the target and maintained his feet in the designated areas on the force platform. This procedure ensured that participants were executing the task as fast as possible while maintaining a certain level of precision when aiming for the target. All participants performed each block of trials with a maximum error rate of 20% (4 successful trials out of 5). To prevent fatigue, 30 seconds rest was provided in between each block of trials.

Kinematic analysis of aiming motion

Body kinematics was obtained by Optotrak Certus® motion capture system (Northern Digital Inc., Waterloo, ON, Canada). Seven infrared emitting diodes were placed on the right side of the participant: ankle (lateral malleolus of fibula), knee (lateral condyle of tibia), hip (greater trochanter of femur), shoulder (greater tuberosity of humerus), elbow

(lateral epicondyle of humerus), wrist (styloid process of radius) and head (temple) (Figure 1). From hand kinematics (i.e., marker on the wrist), the duration of acceleration and deceleration phases and the resultant velocity were calculated. Raw data of the wrist position were filtered (fourth-order Butterworth filter with an 8Hz cut-off frequency) and derived two times to obtain acceleration curves. All curves were visually inspected before calculating the duration of acceleration and deceleration phases. Electrical contacts between the stylus at the starting point and with the targets were used to determine the beginning and the end of the movement, respectively. The time between the beginning of the movement and the contact with the target was defined as the *movement time* (MT). Based on the ID of the task, strategies adopted by the participants to aim at the target were assessed using MT and its phases (e.g., acceleration and deceleration).

Kinetic analysis of standing and seated position

Postural control required during standing and seated positions was evaluated with the force platform (FP4060 model, Bertec Corporation, Columbus, OH, USA). Force and time data were amplified and transmitted to a computer using a conversion software (12 bits A/D converter). All signals were recorded at 500Hz. The position and displacement of the *center of pressure* (COP) were measured with the force platform. Postural oscillations were represented by the displacements of COP in medial-lateral (X) and anterior-posterior (Y) directions. The COP speed (average velocity of total COP displacement during the recorded period, which is the sum of all displacements divided by the time interval) was the parameter used to quantify postural stability.²²

Statistical analysis

Data were processed by the Statistica software 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA). The Kolmogorov-Smirnov test was used to verify that all data were normally distributed. All variables associated to the aiming motion at hand level (MT, duration of acceleration and deceleration phases) and the COP speed were submitted to analyses of variance (ANOVAs) contrasting 2 groups (obese group and healthy weight group) \times 2 postural conditions (standing and seated) \times 2 target IDs (1.0 cm and 5.0 cm) with repeated measures on the last two factors. The statistical test Wilks' Lambda was used to assess the null hypothesis. A post hoc test, the Newman-Keuls method, was used to assess interactive effects of intra-subject and inter-subject factors. Significance level was set at $p < 0.05$. All variables are presented as means \pm 95% of confidence intervals (mean \pm 95% CI).

Results

Kinematic parameters of the hand during aiming task

Movement time

Mean MTs for all groups, postural conditions and target IDs are presented in Figure 2. The ANOVA revealed a significant main effect of Group ($F(1,21)=92.86, P<0.001$), IDs ($F(1,21)=237.09, P<0.001$) and Posture ($F(1,21)=336.71, P<0.001$) as well as significant ID \times Posture ($F(1,21)=18.11, P<0.001$), Group \times Posture ($F(1,21)=19.81, P<0.001$) and Group \times ID ($F(1,21)=4.643, P<0.05$) interactions. For both groups, MT increased with an increase in ID and MTs were longer while standing rather than sitting. When seated, obese children had significantly higher MTs compared to healthy-weight children regardless of the target size. Mean MTs were 103 ms higher for targets of 1.0 cm wide (657 ms vs. 554 ms) and 60 ms for targets of 0.5 cm wide (452 ms vs. 392 ms). When standing, MT was only significantly longer for the obese than for the healthy-weight children when aiming to the 1.0 cm target (538 ms vs. 470 ms) but not to the 5.0 cm target (389 ms vs. 365 ms). The longer MTs observed for the obese in regard to higher ID (small target vs. larger target) suggests that obesity increases the difficulty of the aiming task for both standing and seated positions.

Acceleration and deceleration phases

Durations of the acceleration and deceleration phases were quantified to document how the control of the aiming movement varied with changes in ID between obese and healthy-weight groups (Figure 3). For the duration of the acceleration phase (Figure

3A), the ANOVA revealed a significant main effect of ID ($F(1.21)=8.92$, $P<0.01$), Posture ($F(1.21)=5.939$, $P<0.05$), and a significant Group \times Posture interaction, ($F(1.21)=5.084$, $P<0.05$). The decomposition of this interaction revealed that the duration of the acceleration phase was longer in standing position compared to the seated position among obese children. This was not observed for the healthy-weight children. Moreover, duration of acceleration phase for children of the obese group did not statistically differ from durations obtained by children of the healthy-weight group, for all target sizes (Group \times ID interaction: $p = 0.26$). These results suggest that the postural condition rather than the ID affected the acceleration phase in obese children.

Concerning the duration of the deceleration phase (Figure 3B), the ANOVA revealed significant main effects of Group ($F(1.21)=71.864$, $P<0.001$), Posture ($F(1.21)=126.06$, $P<0.001$), ID ($F(1.21)=446.80$, $P<0.001$), and a significant ID \times Posture ($F(1.21)=17.942$, $P<0.001$) interaction. Otherwise, the interaction Posture \times ID ($F(1.21)=3.656$, $P<0.07$) failed to reach significance. In accordance to Fitts' law,²¹ durations of deceleration phases were significantly different between the 2 target sizes. Moreover, durations of deceleration phases are greater in standing position compared to seated condition, which suggest a longer correction time needed when children had to control their standing posture during the aiming movement. However, obese children showed greater durations of deceleration phase for all conditions.

Average speed of COP displacement during aiming task

Average speed of COP displacement during the aiming task for each group and target ID, according to postural condition, are showed in Figure 4. ANOVA revealed significant main effects of Group ($F(1,21)=283.98$, $P<0.001$), Posture ($F(1,21)=961.88$, $P<0.001$) and ID ($F(1,21)=875.85$, $P<0.001$) on the average speed of COP displacement. ANOVA also showed a significant interaction of Group \times Posture \times ID ($F(1,21)=10.362$, $P<0.01$), Group \times Posture ($F(1,21)=11.917$, $P<0.01$), Posture \times ID ($F(1,21)=184.9$, $P<0.001$) and Group \times ID ($F(1,21)=51.347$, $P<0.001$). For both groups, average speed of COP displacement increased with a decrease in target size and decreased in standing position. The decomposition of the interaction showed that obese children had significantly higher average speed of COP displacement for all target sizes when standing compared to healthy-weight children (3.2 cm/s greater for targets of 1.0 cm wide, 13.9 cm/s vs. 10.7 cm/s, respectively; 3.9 cm/s higher for targets of 5.0 cm wide, 16.1 cm/s vs. 12.2 cm/s, respectively). This was also observed in the seated position, where average speeds of COP displacement were significantly greater among obese children compared to healthy-weight children for 1.0 cm targets (18.5 cm/s vs. 11.9 cm/s, respectively) and 5.0 cm targets (34.5 cm/s vs. 24.9 cm/s, respectively). These results suggest that obesity is a constraint for postural control during the execution of an aiming task, regardless of the difficulty level or the postural condition.

Discussion

The main objective of this study was to quantify motor strategies used in a dual task context among healthy-weight and obese children aged between 8 and 11 years old. We used a Fitts-like paradigm to evaluate arm kinematics in two postural positions, standing and sitting. Children were asked to aim at the target as fast and as accurate as possible while maintaining postural stability. Movement time (MT), duration of acceleration and deceleration phases and the speed of COP displacement were examined. The hypothesis was that obesity would add a postural constraint when standing that would increase the difficulty of the aiming task execution. Conversely, we expected that decreasing the postural constraint (i.e., seated position) would facilitate the execution of the aiming movement. Our results indicated that increasing the aiming task difficulty (size of the target) resulted in increased MTs for both the obese and the healthy-weight children. These results are in accordance with the literature showing that higher ID yields longer MT.^{20,23-24} However, kinematic analysis revealed lower performances in obese children. Obese children performed the task at a slower pace than healthy-weight children, as shown by increased MT. Our observations are similar to those found for obese adults.⁶⁻⁷ Berrigan *et al.*⁶ showed that obese adults had greater MT than their healthy-weight counterparts. In their study, the decomposition of MT showed that acceleration and deceleration phases were significantly greater among obese individuals; more specifically, deceleration phases for targets with higher ID were even greater. In our study, there was no difference in the acceleration phase between the children groups suggesting that determining the proper movement vector and transforming it into

appropriate motor command²⁵⁻²⁶ is not affected by obesity in children. Greater MTs among obese children could thus be explained by a longer deceleration phase that could be related to feedback control processes during movement control.²⁷⁻²⁸ Therefore, our results showed that obese children need more time to program and refine their action during the deceleration phase compared to healthy-weight children. In other words, the additional time spent during the deceleration phase suggests that obesity leads to constraints for correction and finalization of motor movement influenced by postural control. These constraints seem to be even more important when the need for feedback control increased (i.e, for higher ID). Alternatively, these results might be explained by a difficulty for obese children to use an efficient control strategy due to the additional body constraint that is to be controlled during the execution of the movement. This additional postural constraint would limit the speed when aiming precisely. Indeed, it has been shown that biomechanical/inertial factors affect the movement times.²⁵ In a manual dexterity task, D'Hondt *et al.*¹¹ compared the performance of healthy-weight children to obese children aged between 6 and 10 years old for a task involving fine manipulation and manual coordination (Purdue Pegboard Task). During the pegboard task, the children had to take a peg with their dominant hand, pass it to the non-dominant hand and then place it correctly in a slot. Performance was measured by the number of pegs correctly placed in a certain time period. The task was performed in two postural conditions: sitting or standing in a tandem stance on a balance beam. The performance of all children decreased (lower number of pegs correctly placed) for the balance beam condition; however, obese children placed significantly less pegs than

healthy-weight children. Moreover, D'Hondt *et al.*¹⁷ showed, according to age group (5-7 years old, 8-9 years old and 10-12 years old), that obesity affects the global coordination of the body when executing a manual task. These observations support our results that obesity reduces the efficacy of upper limb movements in children when increasing postural demands.

The results of the kinetic analysis of our study indicate a reduced postural stability among obese children. Previous studies have shown that obese children had a postural stability similar to healthy-weight children when standing, although in challenging sensorial conditions, greater body sway was observed among obese children.^{11,14} Our study highlights that the stability of obese children is affected by the difficulty of the task. Aiming at a target in a standing or seated posture requires coordinated arm action and also the coordination of many other factors to maintain a proper postural stability.⁶⁻⁷ Both tasks (aiming and postural stability) showed deficiencies in kinematic and kinetic parameters among obese children compared to their healthy-weight counterparts. Studies have shown that among healthy-weight individuals, the aiming movement was faster in a seated position compared to standing.²⁰ Similarly, children caught a greater number of balls from a seated position compared to a standing.²⁸⁻²⁹ These experiments suggest that a stable base enhances the speed-accuracy of upper limb movements. In our study, obese children were less stable than healthy-weight children during the aiming task for each target and each postural condition. However, both of our groups showed an increase in the speed of COP displacement for the largest target in a seated position. This can be explained by the planning of hand movement and its trajectory involving

trunk muscles, regardless of balance control.^{6,30} In this context, the changes in speed of the COP displacement would be a consequence of the upper limb movement. Our results indicate that obese children showed a greater speed of COP displacement which could be a result of higher arm inertia due to their increased body mass.²⁰ However, this relation is not observed when obese children aimed at the smaller target. To precisely achieve the highest ID task, stabilisation of body segments was necessary.

Regarding results of the aiming task, both of our groups showed a decrease in speed of COP displacement in a standing position, and this was even greater with the increased target ID. These results are in accordance with the literature and clearly show that the movement control system affects the standing postural constraint and a stable base to aim at a target is needed.³¹ However, obese children had greater speeds of COP displacement, thus a diminished balance control during the aiming task. Therefore, obesity would be an additional postural constraint for stabilizing the base of support during a movement. Several studies have shown a close relationship between obesity and postural stability.^{8-9,32-36} A linear relationship between body weight and speed of COP displacement indicates that heavier individuals had the greatest speed of body sway.⁹ These observations are also seen in the elderly where speed and displacement of COP increase with BMI.³⁷ These studies show that obesity among young and older adults increases greatly the magnitude and speed of postural oscillations. Results of our study are in accordance with the literature and highlight that obese children have a less stable base in a standing position which affects the performance of a task requiring speed and precision.

In conclusion, our results suggest that childhood obesity imposes a constraint on voluntary aiming movement due to the effects of body weight on postural control. More importantly, childhood obesity has a negative impact on postural control and voluntary movement. This is a relatively new phenomenon, and excepted the study of D'Hondt *et al.*,¹⁸ the effects of this constraint on motor development and motor skills acquisition are not well documented. Moreover, and to our knowledge, only D'Hondt *et al.*¹⁵ have observed the effects of weight loss on fine and gross motor skills in obese children. Their results clearly show that children who lost weight improved performance, although at a level inferior to those scored by healthy-weight children. For a future perspective, a study regarding long term effects of childhood obesity on postural control and motor skills is warranted to determine the real consequences of obesity during motor development and motor skills acquisition on the activities of daily life in adolescence or adulthood.

Conflict of interest

All authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

OH was supported by FIR from UQTR. The authors would like to thank all the participants. Special thanks to Marcel Kazsap for his programming expertise and his technical support.

References

- [1] Ogden CL, Carroll MD, Kit BK, Flegal KM. Prevalence of overweight and obesity in the United States, 1999-2004. *JAMA* 2006; 295(13): 1549-1555.
- [2] Kopelman PG. Obesity as a medical problem. *Nature* 2000; 404(6778): 635-643.
- [3] Dietz WH. Health consequences of obesity in youth: childhood predictors of adult disease. *Pediatrics* 1998; 101: 518-525.
- [4] Daniels SR. The consequences of childhood overweight and obesity. *Futur Child* 2006; 16(1): 47-67.
- [5] Must A, Strauss RS. Risks and consequences of childhood and adolescent obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999; 23(2): S2-11.
- [6] Berrigan F, Simoneau M, Tremblay A, Hue O, Teasdale N. Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *Int J Obes* 2006a; 30(12): 1750-1757.
- [7] Berrigan F, Hue O, Teasdale, N., Simoneau, M. Obesity adds constraint on balance control and movement performance. *HFES Proceedings* 2008; 52: 1364-1368.
- [8] Teasdale N, Hue O, Marcotte J, Berrigan F, Simoneau M, Doré J *et al.* Reducing weight increases postural stability in obese and morbid obese men. *Int J Obes* 2007; 31(1): 153-160.
- [9] Hue O, Simoneau M, Marcotte J, Berrigan F, Doré J, Marceau P *et al.* Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture* 2007; 26(1): 32-38.
- [10] Graf C, Koch B, Kretschmann-Kandel E, Falkowski G, Christ H, Coburger S *et al.* Correlation between BMI, leisure habits and motor abilities in childhood (CHILT-project). *Int J Obes* 2004; 28(1): 22-26.
- [11] D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M. Childhood obesity affects fine motor skill performance under different postural constraints. *Neurosci Lett* 2008; 440(1): 72-75.
- [12] Deforche BI, Hills AP, Worringham C, Davies PS, Murphy AJ, Bouckaert JJ *et al.* Balance and postural skills in normal-weight and overweight prepubertal boys. *Int J Obes* 2009; 4(3): 175-182.

- [13] D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Lenoir. Relationship between motor skill and body mass index in 5- to 10-year-old children. *Adapt Phys Activ Q* 2009; 26(1): 21-37.
- [14] D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Gentier I, Tanghe A, Shultz S *et al.* Postural balance under normal and altered sensory conditions in normal-weight and overweight children. *Clin Biomech* 2011a; 26(1): 84-89.
- [15] D'Hondt E, Deforche B, Gentier I, De Bourdeaudhuij I, Vaeyens R, Philippaerts R *et al.* A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers. *Int J Obes* 2013; 37(1): 61-67.
- [16] Gentier I, D'Hondt E, Shultz S, Deforche B, Augustijn M, Hoorne S *et al.* Fine and gross motor skills differ between healthy weight and obese children. *Res Dev Disabil* 2013b; 34(11): 4043-4051.
- [17] D'Hondt E, Deforche B, Vaeyens R, Vandorpe B, Vandendriessche J, Pion J *et al.* Gross motor coordination in relation to weight status and age in 5- to 12-year-old boys and girls: A cross-sectional study. *Int J Pediatr Obes* 2011b; 6(2): e556-564.
- [18] D'Hondt E, Gentier I, Deforche B, Tanghe A, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M. Weight loss and improved gross motor coordination in children as a result of multidisciplinary residential obesity treatment. *Obesity* 2011c; 19(10): 1999-2005.
- [19] Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ* 2000; 320: 1-6.
- [20] Berrigan F, Simoneau M, Martin O, Teasdale N. Coordination between posture and movement: interaction between postural and accuracy constraints. *Exp Brain Res* 2006b; 170(2): 255-264.
- [21] Fitts PM. The information capacity of the human motor system controlling the amplitude of the movement. *J Exp Psychol* 1954; 47: 381-391.
- [22] Maki BE. Biomechanical approach to quantifying anticipatory postural adjustments in the elderly *Med Biol Eng Comp* 1993; 31: 355-362.
- [23] Dounskaia N, Wisleder D, Johnson T. Influence of biomechanical factors on substructure of pointing movements. *Exp Brain Res* 2005; 164: 505-516.
- [24] Plamondon R, Alimi AM. Speed/accuracy trade-offs in target directed movements. *Behav Brain Sci* 1997; 20:279-303; discussion 303-349.

- [25] Gordon J, Ghilardi MF, Ghez C. Accuracy of planar reaching movements. I. Independence of direction and extent variability. *Exp Brain Res* 1994; 99(1): 97-111.
- [26] Vindras P, Viviani P. Frames of reference and control parameters in visuomanual pointing. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1998; 24(2): 569-591.
- [27] Marteniuk RG, MacKenzie CL, Jeannerod M, Athenes S, Dugas C. Constraints on human arm movement trajectories. *Can J Psychol* 1987; 41: 365-378.
- [28] Davids K, Bennett S, Kingsbury D, Jolley L, Brain T. Effects of postural constraints on children's catching behavior. *Res Q Exerc Sport* 2000; 71: 69-73.
- [29] Savelsbergh GJ, Bennett SJ, Angelakopoulos GT, Davids K. Perceptual-motor organization of children's catching behaviour under different postural constraints. *Neurosci Lett* 2005; 373: 153-158.
- [30] Ma S, Feldman AG. Two functionally different synergies during arm reaching movements involving the trunk. *J Neurophysiol* 1995; 73: 2120-2122.
- [31] Bouisset S, Zattara M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *J Biomech* 1987; 20(8): 735-742.
- [32] McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, Dickerson J, Ward DS. Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81(4): 484-489.
- [33] Bernard PL, Geraci M, Hue O, Amato M, Seynnes O, Lantieri D. Influence of obesity on postural capacities of teenagers. Preliminary study. *Ann Readapt Med Phys* 2003; 46(4): 184-190.
- [34] Menegoni F, Galli M, Tacchini E, Vismara L, Caviglioli M, Capodaglio P. Gender-specific effect of obesity on balance. *Obesity* 2009; 17(10): 1951-1956.
- [35] Handrigan G, Hue O, Simoneau M, Corbeil P, Marceau P, Marceau S *et al.* Weight loss and muscular strength affect static balance control. *Int J Obes* 2010; 34(5): 936-942.
- [36] Handrigan G, Berrigan F, Hue O, Simoneau M, Corbeil P, Tremblay A *et al.* The effects of muscle strength on center of pressure-based measures of postural sway in obese and heavy athletic individuals. *Gait Posture* 2012; 35(1): 88-91.

- [37] Dutil M, Handrigan G, Corbeil P, Cantin V, Simoneau M, Teasdale N *et al.* The impact of obesity on balance control in community-dwelling older women. *AGE* 2013; 35(3): 883-890.

TABLE

Table 1 – Group characteristics.

	Control group	Obese group
	<i>n</i> = 12	<i>n</i> = 11
Age (years)	9.3 ± 0.9 [8 – 11]	9.4 ± 1.0 [8 – 11]
Height (cm)	132.5 ± 5.2 [150 – 164]	137.0 ± 4.7 [129 – 145]
Weight (kg)*	27.3 ± 3.8 [21– 34]	43.4 ± 4.6 [38 – 55.3]
BMI (kg/m²)*	15.5 ± 1.3 [13.3 – 17.9]	23.1 ± 2.4 [20.5 – 28.6]

Note. Values are means ± SD [min – max]; * $P < 0.001$ = significantly different between Control group and Obese group.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1 – Experimental set-up (Adapted and modified from Berrigan *et al.*⁶).

Figure 2 – Mean movement time (ms) for each group and target ID. Vertical bars represent the 0.95 confidence interval.

Figure 3 – (A) Mean duration of the acceleration phase and (B) mean duration of the deceleration phase for each group and target ID. For all graphs, vertical bars represent the 0.95 confidence interval.

Figure 4 – Mean speed of COP displacement (cm/s) during the movement time for each group and target ID. Vertical bars represent the 0.95 confidence interval.

FIGURE 1

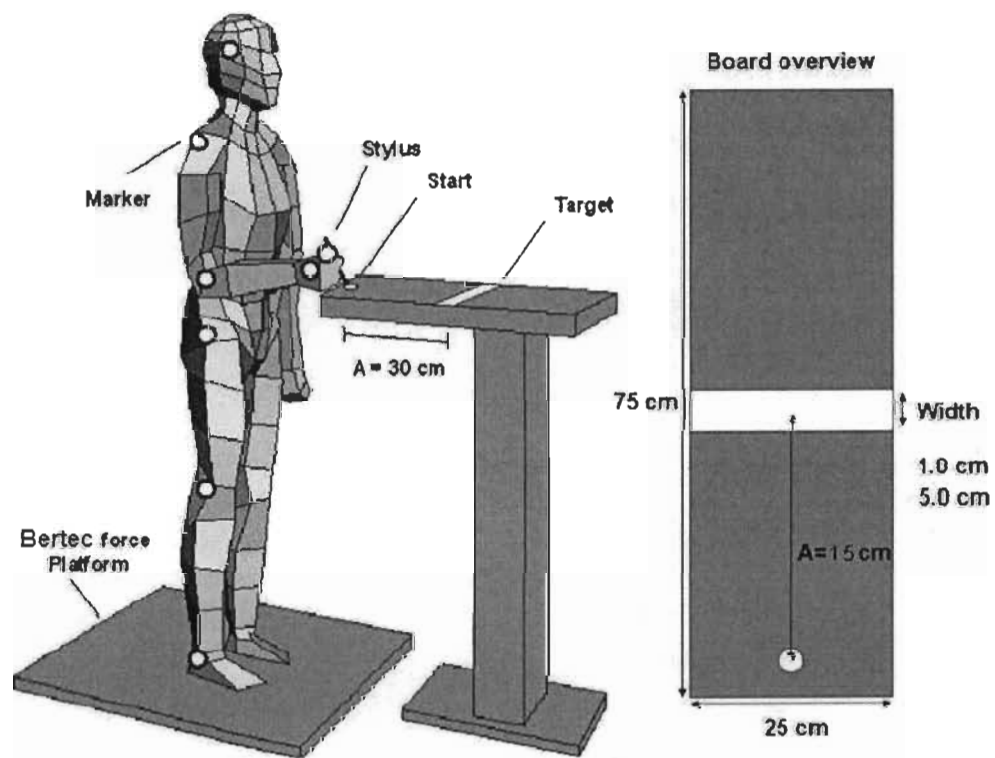


FIGURE 2

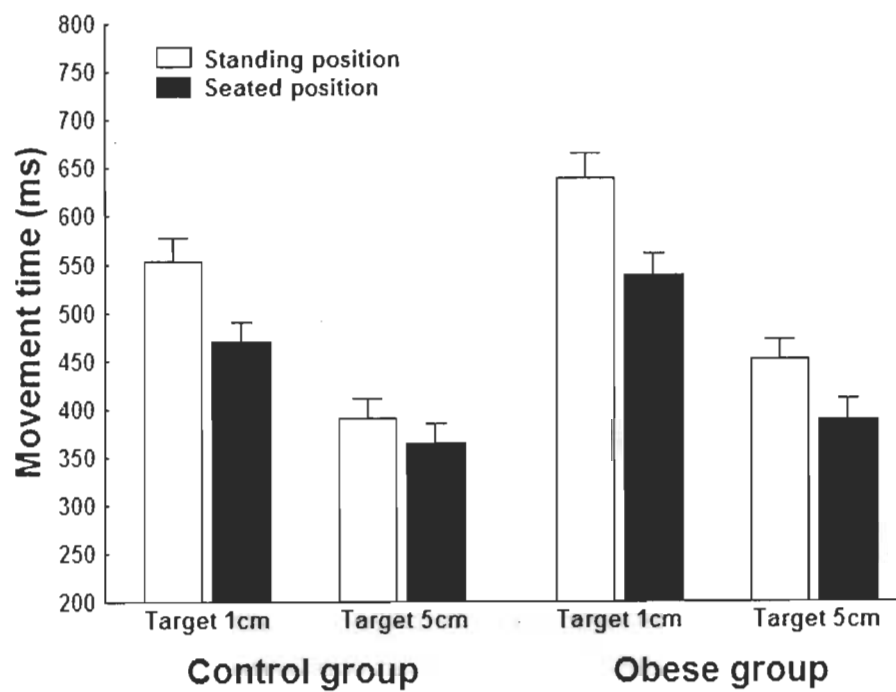


FIGURE 3

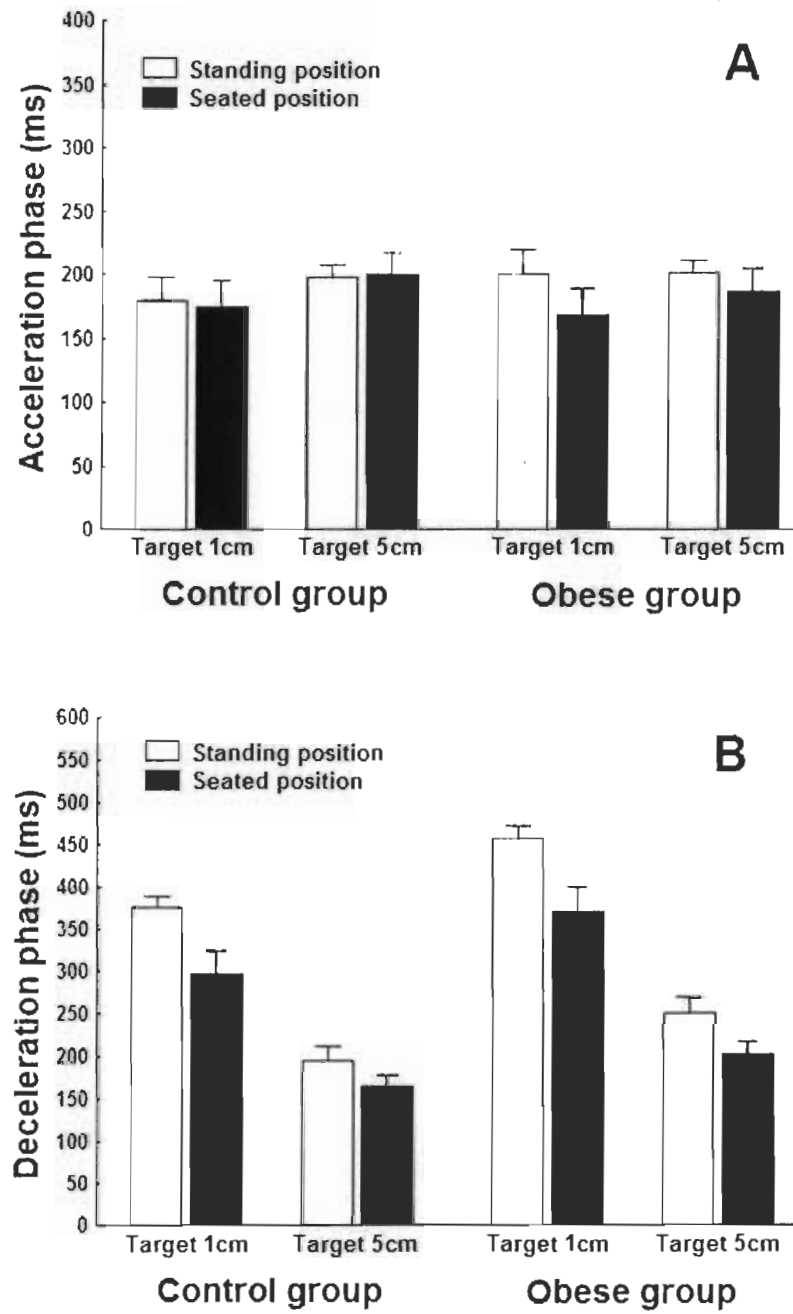
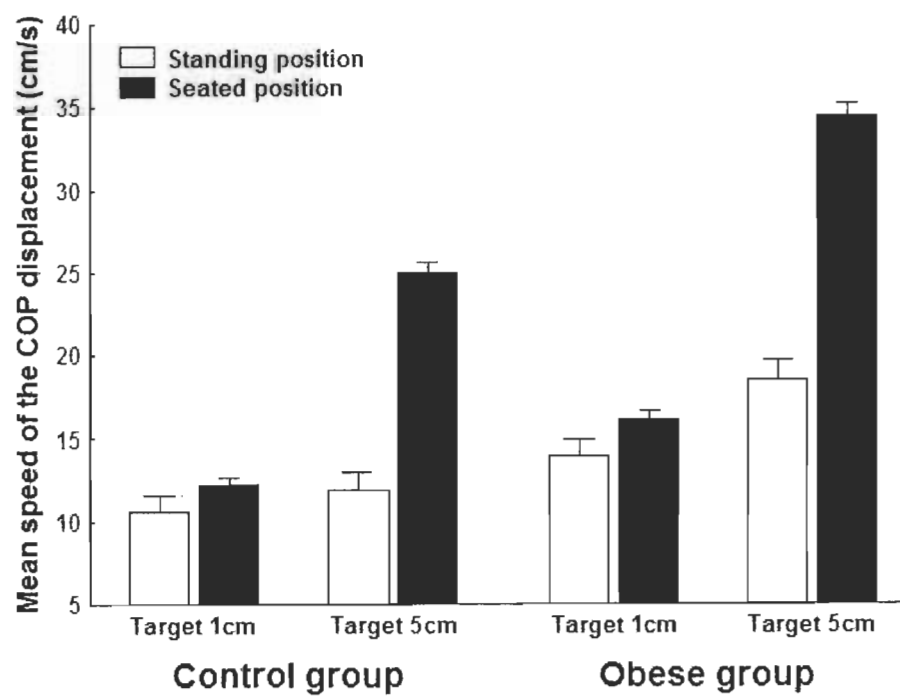


FIGURE 4



CHAPITRE VIII

Conclusion générale

L'objectif de notre étude était de déterminer s'il y avait des différences entre des enfants obèses et des enfants sains du même âge lors d'une tâche de pointage en situation de posture debout et assise. Lors de ce protocole expérimental, les enfants devaient pointer vers une cible le plus rapidement possible avec le maximum de précision possible. Deux indices de difficulté randomisés (largeur de cible de 1,0 et 5,0 cm) ont été proposés par bloc de 5 essais.

Nous avons observé chez les enfants obèses que la durée de la phase de décélération était particulièrement plus longue en raison de l'inertie corporelle segmentaire plus importante à contrôler. Les enfants obèses ont besoin de plus de temps alloué à la phase de correction du mouvement lors de l'approche d'une cible à atteindre. Dans ce contexte de double tâche, le traitement central nécessaire au contrôle du mouvement est plus demandant en ressources attentionnelles pour les enfants obèses que pour les enfants sains. Ce coût supplémentaire se traduit par une diminution de l'attention allouée au contrôle de la posture, amenant ainsi une diminution de la stabilité posturale. Les

résultats observés montrent que l'obésité précoce est une condition qui affecte la coordination entre la posture et le mouvement chez l'enfant.

Ces effets négatifs pourraient nuire au développement moteur et à l'acquisition d'habiletés motrices qui se construisent justement lors du développement de la posture et le contrôle de la coordination motrice. L'obésité précoce pourrait hypothéquer l'acquisition du savoir-faire moteur chez les enfants.

L'activité motrice est au cœur du développement moteur et des fonctions cognitives. Elle vient aider l'enfant à développer son comportement, ses habiletés et les concepts de schéma corporel par la configuration des objets, par les relations entre eux et le mouvement et par la relation de l'abstrait et de la réalité directement observable. Les stimuli interpelés par l'activité motrice contribuent à la progression de la connaissance de soi et de la possibilité d'adaptation dans l'environnement. Cette progression est aussi dépendante des facteurs de maturation nerveuse (Rigal, 1995). Donc, si l'obésité peut nuire au développement moteur, elle pourrait aussi nuire à la progression des connaissances cognitives et intellectuelles. Pour vérifier cette hypothèse, une étude comparative entre l'apprentissage cognitif et intellectuel des enfants obèses et celui des enfants sains permettrait de vérifier d'autres effets de l'obésité sur le comportement humain en relation avec les activités de la vie quotidienne.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Assaiante C (1998). Development of locomotor balance control in healthy children. *Neurosci Biobehav Rev* 22(4):527-32.

Assaiante C, Mallau S, Viel S, Jover M, Schmitz C (2005). Development of postural in healthy children : a functional approach. *Neural Plast* 12 (2-3):109-18; discussion 263-72.

Bensmaïa SJ, Leung YY, Hsiao SS, Johnson KO (2005). Vibratory adaptation of cutaneous mechanoreceptive afferents. *J Neurophysiol* 94(5):3023-36.

Bernard PL, Geraci M, Hue O, Amato M, Seynnes O, Lantieri D (2003). Effets de l'obésité sur la régulation posturale d'adolescentes. *Ann Readapt Med Phys* 46(4):184-90.

Berrigan F, Simoneau M, Tremblay A, Hue O, Teasdale N (2006a). Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *Int J Obes* 30(12):1750-7.

Berrigan F, Simoneau M, Martin O, Teasdale N (2006b). Coordination between posture and movement: interaction between postural and accuracy constraints. *Exp Brain Res* 170(2):255-64.

Bioulac B, Burbaud P, Cazalets JR, Gross C (2005). Fonctions motrices. *EMC-Kinésithérapie* 1(4):183-233.

Branca F, Nikogosian H, Lobstein T (2007). *The Challenge of Obesity in the WHO European Region and the Strategies for Responses*. World Health Organization. Copenhagen.

Burke V (2006). Obesity in childhood and cardiovascular risk. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 33(9):831-7.

Choudhury S, Charman T, Bird V, Blakemore SJ (2007). Adolescent development of motor imagery in a visually guided pointing task. *Consciousness Cogn* 16(4):886-96.

Cloné P, Frelut ML, Pèrès G, Thoumie P (2008). Postural control in obese adolescents assessed by limits of stability and gait initiation. *Gait & Posture* 28(1):164-9.

Corbeil P, Simoneau M, Rancourt D, Tremblay A, Teasdale N (2001). Increased risk for falling associated with obesity : Mathematical modeling of postural control. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 9(2):126-36.

D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M (2008). Childhood obesity affects fine motor skill performance under different postural constraints. *Neurosci Lett* 440(1):72-5.

D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M (2009). Relationship between motor skill and body mass index in 5- to 10-Year old children. *Adapt Phys Activ Q* 26(1):21-37.

D'Hondt E, Deforche B, Vaeyens R, Vandorpe B, Vandendriessche J, Pion J, Philippaerts R, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M (2011). Gross motor coordination in relation to weight status and age in 5- to 12-year-old boys and girls: A cross-sectional study. *Int J Pediatr Obes* 6(2-2):e556-64.

D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Gentier I, Tanghe A, Shultz S, Lenoir, M (2011). Postural balance under normal and altered sensory conditions in normal-weight and overweight children. *Clin Biomech* 26(1):84-9.

D'Hondt E, Gentier I, Deforche B, Tanghe A, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M (2011). Weight loss and improved gross motor coordination in children as a result of multidisciplinary residential obesity treatment. *Obesity* 19(10):1999-2005.

D'Hondt E, Deforche B, Gentier I, De Bourdeaudhuij I, Vaeyens R, Philippaerts R, Lenoir M (2013). A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers. *Int J Obes* 37(1):61-7.

Daniels SR (2006). The consequences of childhood overweight and obesity. *Futur Child* 16(1):47-67.

Deforche BI, Hills AP, Worringham C, Davies PS, Murphy AJ, Bouckaert JJ, De Bourdeaudhuij IM (2009). Balance and postural skills in normal-weight and overweight prepubertal boys. *Int J Obes* 4(3):175-82.

Duysens J, Clarac F, Cruse H (2000). Load-Regulating mechanisms in gait and posture: Comparative aspects. *Physiol Rev* 80(1):84-133.

Fitts P (1954). The information capacity of the human motor system controlling the amplitude of the movement. *J Exp Psychol* 47(6):381-91.

Gentier I, Augustijn M, Deforche B, Tanghe A, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M, D'Hondt E (2013). A comparative study of performance in simple and choice reaction time tasks between obese and healthy-weight children. *Res Dev Disabil* 34(9):2635-41.

Gentier I, D'Hondt E, Shultz S, Deforche B, Augustijn M, Hoorne S, Verlaeche K, De Bourdeaudhuij I, Lenoir, M (2013). Fine and gross motor skills differ between healthy-weight and obese children. *Res Dev Disabil* 34(11):4043-51.

Graf C, Koch B, Kretschmann-Kandel E, Falkowski G, Christ H, Coburger S, Lehmacher W, Bjarnason-Wehrens B, Platen P, Tokarski W, Predel HG, Dordel S (2004). Correlation between BMI, leisure habits and motor abilities in childhood (CHILT-project). *Int J Obes* 28(1):22-6.

Horak FB, Nashner LM (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol* 55(6):1369-81.

Horak BF, Shupert LC, Mirka A (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly : A review. *Neurobiol Aging* 10(6):727-38.

Hue O, Simoneau M, Marcotte J, Berrigan F, Doré J, Marceau P, Tremblay A, Teasdale N (2007). Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait & Posture* 26(1):32-8.

Hue O, Berrigan F, Simoneau M, Marcotte J, Marceau P, Marceau S, Tremblay A, Teasdale N (2008). Muscle force and force control after weight loss in obese and morbidly obese men. *Obes Surg* 18(9):1112-18.

Ivanenko Y, Grasso R, Israël I, Berthoz A (1997). Spatial orientation in humans: perception of angular whole-body displacements in two-dimensional trajectories. *Exp Brain Res* 117(3):419-27.

Kiphard EJ, Schilling F (1974). *Körperkoordinationstest für Kinder (Body Coordination Test for Children)*. Manuel Weinheim. Germany: Beltz Test GmbH.

Kopelman PG (2000). Obesity as a medical problem. *Nature* 404(6778): 635-43.

Lambert J, Bard C (2005). Acquisition of visuomanual skills and improvement of information processing capacities in 6- to 10-year-old children performing a 2D pointing task. *Neurosci Lett* 377(1):1-6.

Lhuisset L, Proteau L (2004). Visual control of manual aiming movements in 6- to 10-year-old children and adults. *J Mot Behav* 36(2):161-72.

Massion J (1994). Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* 4(6):877-87.

McGraw B, McClenaghan BA, Williams HG, Dickerson J, Ward DS (2000). Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Arch Phys Med Rehabil* 81(4):484-9.

Mignardot JB, Olivier I, Promayon E, Nougier V (2010). Obesity impact on the attentional cost for controlling posture. *PLoS One* 5(12):e14387.

Must A, Strauss RS (1999). Risks and consequences of childhood and adolescent obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 23(2):S2-11.

Nader PR, O'Brien M, Houts R, Houts R, Bradley R, Belsky J, Crosnoe R, Friedman S, Mei Z, Susman EJ (2006). Identifying risk for obesity in early childhood. *Pediatrics* 118(3):e594-601.

Nantel J, Mathieu ME, Prince F (2011). Physical activity and obesity: biomechanical and physiological key concepts. *J Obes* (650230):1-10.

Nashner L, Shupert C, Horak F, Black F (1989). Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog Brain Res* 80:411-8.

Nolan L, Grigorenko A Thorstensson A (2005). Balance control: sex and age differences in 9- to 16-years-olds. *Dev Med Child Neurol* 47(7):449-54.

Ogden CL, Carroll MD, Kit BK, Flegal KM (2006). Prevalence of overweight and obesity in the United States, 1999-2004. *JAMA* 295(13):1549-55.

Proteau L, Isabelle G (2002). On the role of visual afferent information for the control of aiming movements toward targets of different sizes. *J Mot Behav* 34(4):367-84.

Rigal R (1995). *Motricité Humaine: fondements et applications pédagogiques*. Presses de l'Université du Québec.

Rival C, Ceyte H Olivier I (2005). Development changes of static standing balance in children. *Neurosci Lett* 376(2):133-6.

Saavedra S, Woolacott M Donkelaar VP (2007). Effects of postural support on eye hand interactions across development. *Exp Brain Res* 180(3):557-67.

Saunders AJ, Knill CD (2003). Humans use continuous visual feedback from the hand to control fast reaching movements. *Exp Brain Res* 152(3):341-52.

Saunders AJ, Knill CD (2005). Humans use continuous visual feedback from the hand to control both the direction and distance of pointing movements. *Exp Brain Res* 162(4):458-73.

Schimd M, Conforto S, Lopez L, Renzi P, D'alessio T (2005). The development of postural strategies in children: a factorial design study. *J Neuroeng Rehabil* 30(2):29.

Schmidt RA, Lee T (1988). *Motor Control and Learning*. Humans Kinetics.

Smits-Engelsman BC, Wilson PH, Westenberg Y, Duysens J (2003). Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities : An underlying open-loop control deficit. *Hum Mov Sci* 22(4-5):495-513.

Statistique Canada, Gouvernement du Canada (2004). *Obésité mesurée: L'embonpoint chez les enfants et les adolescents au Canada*. Catalogue de Statistique Canada - n° 82-620-MWF.

Teasdale N, Simoneau M (2001). Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait & Posture* 14 (3):203-10.

Teasdale N, Hue O, Marcotte J, Berrigan F, Simoneau M, Doré J, Marceau S, Tremblay A (2007). Reducing weight increases postural stability in obese and morbid obese men. *Int J Obes* 31(1):153-60.

Winter DA, Eng P (1995). Kinetics: our window into the goals and strategies of the central nervous system. *Behav Brain Res* 67(2):111-20.

Winter DA, Castiello U, Blason L, Scabar A (2005). Reaching in children with and without developmental coordination disorder under normal and perturbed vision. *Dev Neuropsychol* 27(2):257-73.

Woollacott M, Shumway-Cook A (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture* 16(1): 1-14.