



HAL
open science

Validation d'outils adaptés pour l'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse

Sylvain Quinart

► **To cite this version:**

Sylvain Quinart. Validation d'outils adaptés pour l'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse. Physiologie [q-bio.TO]. Université de Franche-Comté, 2013. Français. NNT : 2013BESA3005 . tel-01151229

HAL Id: tel-01151229

<https://theses.hal.science/tel-01151229>

Submitted on 12 May 2015

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

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

UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

ECOLE DOCTORALE “ENVIRONNEMENTS – SANTE”

EA 3920 MARQUEURS PRONOSTIQUES ET FACTEURS DE REGULATION DES PATHOLOGIES CARDIOVASCULAIRES

Thèse en vue de l’obtention du grade de

DOCTEUR DE L’UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

Discipline : **SCIENCES ET TECHNIQUES DES ACTIVITES PHYSIQUES ET SPORTIVES**

**VALIDATION D’OUTILS ADAPTÉS POUR L’ÉVALUATION
DE L’ENDURANCE CARDIORESPIRATOIRE
CHEZ L’ADOLESCENT OBÈSE**

Présentée et soutenue publiquement par

SYLVAIN QUINART

Le 25 novembre 2013

Membres du jury :

Directeur de thèse:

Fabienne MOUGIN-GUILLAUME MCU-HDR - *Université de Franche-Comté*

Rapporteurs :

Pascale DUCHE Professeur - *Université de Clermont-Ferrand*

Murielle GARCIN Professeur - *Université de Lille 2*

Examineurs :

Patrice FLORE MCU-HDR - *Université de Grenoble 1*

Nicolas TORDI Professeur - *Université de Franche-Comté*

Membres invités :

Nathalie FARPOUR-LAMBERT Médecin du sport-Pédiatre - *Hôpitaux Universitaires de Genève*
EASO - Childhood Obesity Task Force

Véronique NEGRE-ROHRLICH Médecin-Pédiatre - *Centre Hospitalier Universitaire de Besançon*
European Children Obesity Groupe

RÉSUMÉ

L'obésité pédiatrique et ses pathologies associées sont devenues un problème majeur de santé publique et justifient la mise en place de stratégies préventives et thérapeutiques. Parmi ces stratégies, l'augmentation du niveau d'activités physiques est retrouvée dans la plupart des recommandations internationales. Cependant, la reprise des activités physiques quotidiennes et de loisirs est souvent complexe chez le jeune obèse en raison d'une image de soi dévalorisée, de difficultés d'intégration et d'une faible condition physique. L'excès pondéral, associé à la sédentarité, altère progressivement l'endurance cardiorespiratoire à l'exercice, freinant le retour à une pratique physique régulière et contribuant à la non-observance des prescriptions en activité physique. En raison du faible nombre de plateaux techniques, l'exploration fonctionnelle à l'exercice, généralement réalisée à partir d'épreuves d'effort en laboratoire reste à ce jour peu accessible pour ce type de public. C'est pourquoi, le développement d'outils non-invasifs pour la mesure de l'endurance cardiorespiratoire, tel que les échelles de perception de l'effort, les tests d'aptitude de terrain adaptés aux contraintes des jeunes obèses, ou encore la variabilité de la fréquence cardiaque, s'avèrent nécessaires pour répondre à un besoin croissant des professionnels de l'activité physique, impliqués dans la prise en charge de ces jeunes. L'objectif principal de ce travail de thèse a donc été de valider des outils pour déterminer la capacité cardiorespiratoire du jeune obèse et ses variations au cours de l'entraînement. Trente adolescents obèses sévères (z -score IMC = $4,37 \pm 0,11$) ont réalisé, en amont et à l'issue d'une prise en charge multidisciplinaire (associant un accompagnement médical, diététique, psychologique et reprise d'activité physique), trois tests d'aptitude de terrain ainsi qu'une épreuve d'effort maximale sur ergocycle avec mesure en continu des variables physiologiques (VE, VO_2 , VCO_2 , FC, intervalle R-R) et perceptives. La perception de l'effort a été mesurée par une échelle de Borg adaptée, le "Childhood Obesity Perceived Exertion Scale" (COPE-10). Un test de marche/course en 12 min, un test de marche navette adapté sur 20m (départ : $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, incrémentation : $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) et un test sous-maximal sur ergocycle en 4 paliers ont permis de déterminer des indices d'endurance cardiorespiratoire : Distance parcourue en 12 minutes (D12), Vitesse maximale (V_{max}) et Puissance Maximale Aérobie (PMA). L'analyse fréquentielle en temps variant des intervalles R-R a permis d'estimer des seuils de variabilité de la fréquence cardiaque. Les principaux résultats de ce travail ont montré que le COPE-10 est une échelle spécifique, reproductible et sensible pour quantifier l'intensité de l'exercice perçue au cours de l'effort. Par ailleurs, les corrélations significatives en pré- et post-cure entre VO_2 pic et D12, V_{max} et PMA respectivement, attestent de la validité et de la sensibilité des trois tests. Des équations de prédiction du VO_2 pic, prenant en compte l'IMC, ont été élaborées à partir de ces indices d'endurance cardiorespiratoire. Enfin, un lien étroit entre les seuils de variabilité de la fréquence cardiaque et les seuils ventilatoires a été observé, témoignant de la fiabilité de l'analyse fréquentielle pour déterminer avec précision des intensités d'exercice sous-maximales. En conclusion, ces outils peu coûteux et simples d'utilisation présentent un intérêt majeur pour l'évaluation et le suivi de l'endurance cardiorespiratoire de l'adolescent obèse. En pratique clinique, ils peuvent être facilement utilisés pour concevoir et individualiser des programmes de réentraînement adaptés aux jeunes en surpoids.

Mots clefs : obésité, adolescent, condition physique, test de terrain, variabilité de la fréquence cardiaque, perception de l'effort.

SUMMARY

Pediatric obesity and its associated diseases have become a major public health challenge justifying implementation of preventive and therapeutic measures. Among these, an increase in the level of physical activity is recommended by most international guidelines. However, the return to daily physical and leisure activities can be difficult for obese youths, due to low self-esteem, difficulties in integrating groups and poor physical fitness. Overweight combined with sedentarity progressively modify cardio-respiratory exercise tolerance, rendering difficult the return to exercise and contributing to non-compliance with prescriptions for physical activity. Due to the limited number of suitable facilities, functional explorations of exercise, which are usually performed using exercise tests in the laboratory context, remain poorly accessible for this patient population. For this reason, the development of non-invasive tools to measure cardiorespiratory fitness, such as scales to measure perceived exertion, physical aptitude field tests adapted to the constraints of obese youths, or heart rate variability, is necessary to meet the growing needs of professionals in the field of physical activity responsible for the management of these subjects. The main objective of this doctoral thesis was to validate tools to determine cardiorespiratory capacity in obese youths and its variations during training. Thirty severely obese adolescents (z-score BMI = 4.37 ± 0.11) performed three field tests before and after a multidisciplinary obesity management programme (comprising medical, dietetic, psychological counselling and a return to physical activity), as well as a maximal exercise stress tests on a cycle ergometer, with continuous measurement of physiological (VE, VO₂, VCO₂, heart rate, R-R interval) and perceptive variables. Perceived exertion was measured using an adaptation of the Borg scale, called the "Childhood Obesity Perceived Exertion Scale" (COPE-10). A 12 minute walk/run test, an adapted 20m shuttle walk test (starting speed 4 km.h⁻¹, increments : 0.5 km.h⁻¹.min⁻¹) and a submaximal exercise test by cycle ergometer with 4 stages were used to calculate indices of cardiorespiratory fitness, namely: distance covered in 12 minutes (D12), maximum speed (Vmax) and maximum aerobic power development (PMA). Time-domain frequency analysis of the R-R intervals was used to estimate the thresholds of heart rate variability. The main findings show that the COPE-10 is a specific, reproducible and sensitive scale to quantify the intensity of exercise as perceived by the subject during effort. Significant correlations before and after the management programme between peak VO₂ and D12, Vmax and PMA respectively underline the validity and sensitivity of these three tests. Equations to predict peak VO₂, adjusted for BMI, were developed based on these measures of cardiorespiratory fitness. Lastly, a strong relation between the thresholds of heart-rate variability and ventilatory thresholds was observed, highlighting the reliability of frequency analysis to accurately determine submaximal exercise intensity. In conclusion, these tools are inexpensive, easy to implement and highly useful in the evaluation and follow-up of cardiorespiratory fitness in obese adolescents. In clinical practice, they can easily be used to develop and personalise adapted re-training programmes in overweight youths.

Keywords: obesity; adolescent; physical fitness; field test; heart rate variability; perceived exertion.

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit d'un travail de patience, parfois de doute et surtout de persévérance.

Je tiens à exprimer ici mes sincères et plus chaleureux remerciements à toutes celles et ceux qui m'ont aidé à réaliser cette thèse, grâce à leurs compétences, leur disponibilité, leur soutien et leur patience.

Merci,

Aux Professeurs Pascale Duché et Murielle Garcin, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail et de donner de leur temps pour critiquer et juger celui-ci. Leurs commentaires et conseils seront pour moi des plus enrichissants.

Au Professeur Nicolas Tordi et Patrice Flore, pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et faire partie de mon jury de thèse. Vos conseils avisés lors des comités de thèse m'ont orienté dans la réalisation de ce travail.

Au Docteur Nathalie Farpour-Lambert, de me faire l'honneur d'apporter votre regard de pédiatre et médecin du sport engagée dans la prise en charge de l'obésité pédiatrique, sur ce travail de thèse.

Au Docteur Véronique Nègre, pour m'avoir donné la chance d'accomplir ce projet en me permettant d'associer ce travail de recherche à mon activité professionnelle. Son écoute, son soutien permanent et sa capacité à me faire prendre du recul. Je vous suis profondément reconnaissant.

À Fabienne Mougin-Guillaume, pour avoir eu confiance en mes idées et m'avoir accompagné dans cette démarche scientifique. Son encadrement précieux, sa réactivité, sa franchise, sa bonne humeur, son soutien rassurant et surtout ses bons conseils. Toutes ces heures passées à vos côtés ont été pour moi très enrichissantes. Merci pour tout !

Aux Professeurs Jacques Regnard et Nicolas Meneveau, pour leur accueil et leur aide au sein de l'équipe de recherche.

À Fiona Ecarnot, Alain Gros Lambert et Laurent Mourot, pour leur collaboration dans l'écriture d'articles et leur ouverture d'esprit.

À toute l'équipe du « RéPPOP-FC » Sophie, Patricia, Laetitia, Édith, Janine, Glori, Anne-Lise, pour leur enthousiasme quotidien et tous les “petits coups de pouce” qu’elles ont pu m’apporter durant ces quatre années.

Aux Docteurs Marie-Laure Simon-Rigaud et Anne-Marie Bertrand, pour leur disponibilité, leurs encouragements et leurs précieux conseils.

Au Docteur Marie Nicolet-Guénat, à Olivier Marlot, à Christophe Schmid, à l'équipe éducative et infirmière, pour m'avoir ouvert les portes de la Beline.

À tous les jeunes qui ont participé à l'étude, pour leur investissement sur le terrain de sport et les moments passés ensemble. Ils m'ont permis de mieux comprendre leur regard d'adolescent sur l'activité physique et sportive.

À Élisabeth et Geneviève, du service d'Explorations Fonctionnelles Respiratoires et de l'Exercice, pour avoir encouragé tous ces jeunes à donner le meilleur d'eux-mêmes.

À ma famille, à ma « belle » famille et à tous mes amis qui ont su m'encourager dans toutes ces étapes. Ma mère et ma sœur Isabelle qui doivent être très fier de moi ! J'ai également une pensée pour mon père et ma grande sœur Anne Lise qui ont su m'apprendre à aller au bout de mes idées.

À Mélanie, pour l'Amour que tu m'apportes tous les jours, ton soutien sans faille particulièrement dans les moments de doute, ta très grande patience et la confiance que tu as mis en moi pour l'aboutissement de ce travail.

... À Louis et Lilou, mes deux plus belles Merveilles !

TABLES DE MATIERES

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	1
TABLEAUX ET FIGURES	4
ABREVIATIONS	6
PREAMBULE	7
REVUE DE LA LITTÉRATURE	9
CHAPITRE I : OBESITE PEDIATRIQUE	10
1. Définition et diagnostic	10
2. Prévalence du surpoids et de l'obésité	12
2.1. Prévalence au niveau international	12
2.2. Prévalence au niveau national	14
2.3. Prévalence au niveau régional	14
3. Facteurs étiologiques : génétique, épigénétique et environnement	17
3.1. Facteurs prénataux	17
3.2. Facteurs post-nataux	18
3.3. Facteurs environnementaux	19
4. Complications et comorbidités de l'obésité	23
5. Dépistage, prévention et prise en charge	27
5.1. Dépistage	27
5.2. Prévention	27
5.3. Prise en charge	29
CHAPITRE II : OBESITE ET DECONDITIONNEMENT PHYSIQUE	32
1. Concepts et définitions	32
1.1. Habiletés motrices	32
1.2. Condition physique	32
1.3. Consommation maximale d'oxygène	33
1.4. Coût énergétique	35
1.5. Endurance cardiorespiratoire	35
1.6. Activité physique	36
2. Développement de la condition physique du jeune obèse	38
2.1. Enfance	38
2.2. Adolescence	39
2.3. Relation : endurance cardiorespiratoire et composition corporelle	40
CHAPITRE III : ACTIVITE PHYSIQUE INTEGREE A LA PRISE EN CHARGE DE L'OBESITE : UN ENJEU DE SANTE PUBLIQUE	42
1. L'approche en activité physique	42
Publication n°1 : Le sport pour les enfants en surpoids : comment conseiller efficacement ?	44
Publication n°2 : L'activité sportive chez un jeune en surpoids : une prescription ?	47
2. Recommandations en activités physiques	54
Publication n°3 : Activité physique chez l'enfant et l'adolescent en surpoids ou obèse	55
3. L'entraînement chez le jeune obèse	62

CHAPITRE IV : OUTILS D'ÉVALUATION DE L'ENDURANCE CARDIORESPIRATOIRE	64
1. Tests de terrain	64
2. Variabilité de la fréquence cardiaque	68
3. Perception de l'effort	72
4. Procédure de développement et de validation d'outils cliniques	75
CONTRIBUTION PERSONNELLE	78
CONTEXTE ET OBJECTIFS	79
MATERIELS & METHODES	81
1. Sujets	81
2. Programme d'intervention	82
3. Protocole expérimental	83
3.1. Mesures anthropométriques	83
3.2. Épreuve d'effort maximale	83
4. Tests d'aptitude de terrain	84
4.1. Test de Marche/Course en 12min (TMC-12)	84
4.2. Test de Marche/course Navette Adaptée sur 20m (TMNA-20)	84
4.3. Test Sous-Maximal sur Cycloergomètre en 4 paliers (TSMC)	85
4.4. Analyse statistique	85
5. Variabilité de la Fréquence Cardiaque	87
5.1. Détermination des seuils ventilatoires	87
5.2. Détermination du seuil de VFC dans le domaine temporel (SVFC _T)	88
5.3. Détermination des seuils de VFC dans le domaine fréquentiel (SVFC _{F1} et SVFC _{F2})	89
5.4. Analyse statistique	90
6. Perception de l'effort	91
6.1. Présentation du " Childhood Obesity Perceived Exertion scale" COPE-10	91
6.2. Spécificité du COPE-10	94
6.3. Reproductibilité du COPE-10	95
6.4. Sensibilité du COPE-10	95
6.5. Analyse statistique	95
RESULTATS	97
Publication n°4 : Evaluation of cardiorespiratory fitness using three field tests in obese adolescents: validity, sensitivity and prediction of peak VO ₂ .	97
Publication n°5 : Ventilatory thresholds determined from heart rate variability: comparison of two methods in obese adolescents	105
Publication n°6 : Validation of a new scale to measure perceived exertion in obese adolescents: the Childhood Obesity Perceived Exertion (COPE-10) scale	113
DISCUSSION GÉNÉRALE & PERSPECTIVES	122
CONCLUSION GÉNÉRALE	135
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	138

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Publications & résumés de congrès :

Quinart S, Mougín F, Simon-Rigaud ML, Bertrand AM, Nègre N. Sport counseling for overweight children. *Archive de Pédiatrie*. 2010;17(6):894-895.

Quinart S, Manga Carrola P. L'activité sportive chez un jeune en surpoids : une prescription ? *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*. 2011;24(5):266-271

Mougín F, Gueugnon C, Quinart S. L'activité physique : un atout thérapeutique de l'obésité. In G. Ferréol : *Autonomie et Dépendance*. Éditions Modulaires Européennes et intercommunications, Bruxelles. 2011;113-121.

Thibault H, Quinart S, Renaud S, Communal D, Mouton JY. Activité physique chez l'enfant et l'adolescent en surpoids ou obèse - Modalités de prescription. *Cardio & Sport*. 2012;32:33-38.

Quinart S, Mougín F, Simon-Rigaud ML, Nicolet-Guénat M, Nègre V, Regnard J. Evaluation of cardiorespiratory fitness using three field tests in obese adolescents: validity, sensitivity and prediction of peak VO₂. *J Sci Med Sport* 2013. *Sous presse*.

Quinart S, Mourot L, Nègre V, Simon-Rigaud ML, Nicolet-Guénat M, Bertrand AM, Meneveau N, Mougín F. Ventilatory thresholds determined from HRV: comparison of two methods in obese adolescents. *Int J Sports Med* 2013. *Sous presse*.

Quinart S, Gros Lambert A, Ecartot F, Simon-Rigaud ML, Nicolet-Guénat M, Nègre V, Mougín F. Validation of a new scale to measure perceived exertion in obese adolescents: the Childhood Obesity Perceived Exertion (COPE-10) scale. *Eur J Appl Physiol* 2013. *Soumis le 20 juillet 2013*.

Communications orales et affichées :

II^{ème} Congrès commun des sociétés de pédiatrie, Paris, 16 – 19 juin 2010. Communication orale : « Conseil pour la pratique sportive chez l'enfant en surpoids. » QUINART S, BOGGIO V, TREPPOZ S

Colloque Ré-activité : Le poids un obstacle au mouvement ?, Lyon, 26 mars 2011. Communication orale : « Obésité pédiatrique et intégration par le sport, présentation des ateliers tremplins Pass'Sport Forme, expérience de la Franche-Comté. » QUINART S.

Colloque pluridisciplinaire : Autonomie et Dépendance, Besançon, 1 avril 2011. Communication orale : « L'activité physique : un atout thérapeutique de l'obésité. » MOUGIN F, GUEUGNON C, QUINART S.

III^{ème} Journée de Cercle pédiatrique de Bourgogne, Dijon, 17 septembre 2011. Communication orale : « Nouveautés dans la prise en charge de l'enfant trop gros: l'Épigénétique - le Sport - le Soins. » NEGRE V, QUINART S, BOGGIO V.

VII^{ème} Congrès Européen des Sociétés d'Endocrinologie Pédiatrique, Glasgow, 25-28 septembre 2011. Communication affichée : « Early risk factors of obesity in a french overweight pediatric population. » PERRY H, BERTRAND AM, QUINART S, ROHRlich P, NÈGRE V.

II^{ème} Journée de Coordination Nationale des RÉPPOP, Paris, 6 décembre 2011. Communication orale : « Expériences particulières de prise en charge en activité physique : Synthèse du pole Activité Physique Adaptée. » QUINART S, RAUPP A.

XVI^{ème} Journée de l'Association Francophone en Activité Physique Adaptée, Orsay - Université Paris Sud, 29 au 31 mars 2012. Communication orale : « Adaptation de tests de terrain pour l'évaluation et le suivi de l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse. Comparaison aux données de laboratoire. » QUINART S, MOUGIN F, SIMON-RIGAUD ML, NICOLET M, NEGRE V, REGNARD J.

XVIII^{ème} Forum des Jeunes Chercheurs du PRES/Bourgogne Franche-Comté, Besançon, 6 et 7 septembre 2012. Communication orale : « Évaluation de l'endurance cardiorespiratoire de l'adolescent obèse : Validation d'un Test de Marche Navette Adapté. » QUINART S, MOUGIN F, NICOLET-GUÉNAT M, SIMON-RIGAUD ML, BERTRAND AM, REGNARD J.

V^{ème} Congrès Commun Société Française de Médecine de l'Exercice et du Sport & Société Française de Traumatologie du Sport, Grenoble, 25 – 27 octobre 2012. Communication orale : « Utilisation d'une échelle de Perception Subjective de l'Effort comme moyen de détermination du seuil de désadaptation ventilatoire chez l'adolescent obèse. » QUINART S, MOUGIN F, SIMON-RIGAUD ML, NICOLET M, NEGRE V, REGNARD J.

III^{ème} Journée de l'Association Française pour le Développement en Éducation Thérapeutique, Paris, 7 – 8 février 2013. Communication affichée : « Les journées d'accueil pour enfants en surpoids : l'éducation thérapeutique intégrée au bilan initial. » CARDINAL S, QUINART S, BERTRAND AM, BULLIARD J, CARROLA P, NÈGRE V.

III^{ème} Journée de la Société Française d'Endocrinologie et Diabétologie Pédiatrique, Paris, 28 juin 2013. Communication affichée : « Pass'Sport Forme un tremplin pour les jeunes en surpoids. » QUINART S, CHEVAUX J, CARDINAL S, BERTRAND AM, NEGRE V.

XV^{ème} Congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Grenoble, 29 au 31 octobre 2013. Communication orale : « Détermination des seuils ventilatoires à partir de la variabilité de la fréquence cardiaque chez l'adolescent obèse. » QUINART S, MOUROT L, MOUGIN F.

TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1 : Superposition des seuils de référence du surpoids et de l'obésité selon les références internationales (IOTF) sur les courbes de référence françaises pour les filles (rose) et les garçons (bleu) (INPES, 2011).....	11
Figure 2 : Prévalence du surpoids (obésité incluse) chez les enfants âgés de 11 à 15 ans dans 36 pays et territoires du continent Européen. Adaptée de Haug et al. (2009).....	13
Tableau 1 : Évolution de la prévalence du surpoids en Franche-Comté et dans chaque département.	15
Figure 3 : Prévalence du surpoids dans les collèges de Franche-Comté - Norme Française > 97 ^{ème} percentile.	16
Tableau 2 : Évolution de l'IMC moyen et de la prévalence de l'excès de poids chez les filles et les garçons en Franche-Comté.	16
Figure 4 : Courbe de corpulence d'un garçon obèse de 9 ans présentant un rebond d'adiposité précoce à 3 ans.....	19
Tableau 3 : Complications et comorbidités, conduite à tenir et indications d'examens complémentaires (HAS, 2011).....	23
Figure 5 . Facteurs qui influencent la pratique d'activités physiques. Adaptée de Booth et al. (2001)	29
Figure 6 : Volume maximal d'oxygène consommé par unité de temps chez l'enfant (filles, garçons) selon l'âge et le niveau d'entraînement. Adaptée de Falgairette (1989).	34
Tableau 4 : Coût métabolique net ($J.m^{-1}$) et normalisé ($J.kg^{-1}.m^{-1}$) chez des adolescents de poids normal et obèses en fonction de la vitesse de marche. Adapté de Peyrot et al. (2009).	35
Figure 7 : Spirale du déconditionnement chez l'enfant ou l'adolescent obèse (APOP, 2008).	41
Figure 8 : Extrapolation de la PMA à partir d'un test sous-maximal sur ergocycle selon ACSM (2009). .	67

Figure 9 : Électrophysiologie du cœur : propagation de l'influx électrique dans le myocarde et formation du complexe QRS. Adaptée de Malmivuo & Plonsey (1995).	68
Figure 10 : Périodogramme issu de l'analyse fréquentielle d'une série de données d'intervalle R-R.	70
Figure 11 : Analyse temporelle de la VFC au cours d'un exercice incrémenté. Adaptée de Shibata et al. (2002).	70
Figure 12 : Analyse fréquentielle de la VFC au cours d'un exercice incrémenté. Adaptée de Cottin et al. (2006).	71
Figure 13 : Children's Effort Rating Table. Traduction française de Lazaar et al. (2004)	73
Figure 14 : Children's OMNI scale (a) walk/run (b) cycle.	73
Figure 15 : Cart and Load Effort Rating.	74
Figure 16 : Bug and Bag Effort.	74
Figure 17 : Biais et limites d'agrément selon Bland & Altman (1986).	76
Figure 18 : Détermination visuelle des seuils ventilatoires (SV_1 , SV_2) et les FC correspondantes.	87
Figure 19 : Détermination visuelle du seuil de VFC dans le domaine temporel et de la FC correspondante.	88
Figure 20 : Détermination visuelle des seuils de VFC dans le domaine fréquentiel et les FC correspondantes.	89
Figure 21 : Childhood Obesity Perceived Exertion Scale (COPE-10).	92
Figure 22 : Modélisation de la perception de l'effort, la fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène et la ventilation en fonction de la charge de travail (exprimée en pourcentage de la P_{max}) pour un sujet.	94
Tableau 5 : Interpolation de la PE, FC, VO_2 et VE en fonction de la charge de travail (exprimée en pourcentage de la P_{max}) pour un sujet.	94

ABREVIATIONS

20MST	20m multi-stage shuttle run test
CERT	children's effort rating table
COPE-10	childhood obesity perceived exertion scale
CR-10	category ratio scale
D12	distance parcourue en 12 minutes
IMC	indice de masse corporelle
IOTF	international obesity task force
ISWT	incremental shuttle walk test
FC	fréquence cardiaque
FCmaxTh	fréquence cardiaque maximale théorique
MET	metabolic equivalent of task
OMNI	children's omnibus scale
PMA	puissance maximale aérobie
P_{max}	puissance maximale tolérée
PNNS	programme national nutrition santé
PE	perception de l'effort
RÉPPOP	réseau de prévention et de prise en charge de l'obésité pédiatrique
rMSSD	racine carrée de la moyenne des carrés des différences entre les intervalles R-R
SDNN	déviatiion standard de l'intervalle R-R
SV₁ et SV₂	premier et second seuils ventilatoires
SVFC_{F1} et SVFC_{F2}	premier et second seuils de VFC dans le domaine fréquentiel
SVFC_T	seuil de retrait de l'activité vagale
TM-6	test de marche en 6 min
TMC-12	test de marche/course en 12 min
TMNA-20	test de marche/course navette adaptée sur 20m
TSMC	test sous-maximal sur cycloergomètre en 4 paliers
VE	ventilation minute
VFC	variabilité de la fréquence cardiaque
Vmax	vitesse maximale atteinte
VO₂max	consommation maximale en oxygène
VO₂ pic	pic de la consommation maximale en oxygène

PREAMBULE

Relever le défi de l'obésité est l'un des enjeux majeur de ce XXI^{ème} siècle. Considérée par de nombreux experts comme une maladie chronique, l'obésité est liée à l'évolution des modes de vie (sédentarité, alimentation), à des facteurs environnementaux et économiques, sur un fond de prédisposition biologique, et aggravée par de nombreux autres facteurs (médicamenteux, hormonaux...) (Ministère de la Santé, 2010). L'obésité est un déterminant important de la santé qui expose l'individu à de nombreuses maladies cardiovasculaires, métaboliques, articulaires, vésiculaires et/ou cancéreuses, ainsi qu'à une augmentation de la mortalité (HAS, 2011). L'épidémie actuelle de l'obésité (OMS, 2003) interpelle l'ensemble de la société par les problèmes sociologiques, culturels, économiques, philosophiques, et conceptuels qu'elle soulève. En termes de santé, elle bouleverse les stratégies « établies » de nos politiques de prévention et de soins. Les professionnels de santé directement concernés sont troublés par la complexité des processus impliqués dans sa genèse, son expression de plus en plus précoce, l'accentuation de sa morbidité et de sa sévérité dès la préadolescence (Ricour & Tauber, 2008). L'évolution de la prévalence du surpoids chez l'enfant, ces 30 dernières années, fait de l'obésité pédiatrique et ses pathologies associées (Lloyd *et al.*, 2012; Juonala *et al.*, 2011), un problème majeur de santé publique s'accompagnant d'une recrudescence des dépenses de santé futures. À ce jour, il n'existe pas de traitement pharmacologique efficace et la chirurgie bariatrique est un recours très rarement utilisé chez les jeunes en raison des contre-indications qui y sont liées. La prise en charge de cette pathologie chez l'enfant est donc essentiellement axée sur la modification des comportements par un rééquilibrage alimentaire et l'introduction d'une activité physique régulière, tout en prenant en compte les causes psychologiques et sociales sous-jacentes à cette pathologie. Chez les enfants et les adolescents en surpoids, le manque chronique d'activités physiques altère progressivement leur condition physique avec notamment un développement des habiletés motrices perturbé et une endurance cardiorespiratoire limitée. À ceci s'ajoutent une dévalorisation de l'image de soi et des difficultés d'intégration au sein d'un groupe. En effet, ces jeunes sont stigmatisés,

deviennent plus vulnérables face aux moqueries de leurs camarades ce qui induit des attitudes d'évitement, voire de rejet des pratiques sportives. L'ensemble de ces phénomènes les freine dans leur activité physique quotidienne et leurs pratiques de loisir à l'origine d'une augmentation de la sédentarité, aggravant la prise de poids. Pourtant, les recommandations internationales s'accordent sur le fait que la baisse des comportements sédentaires et l'augmentation du niveau d'activités physiques sont des axes thérapeutiques prioritaires pour prévenir et/ou réduire les facteurs de risques liés à l'obésité de l'enfant. Mais est-ce si simple « de faire ou refaire bouger » un jeune obèse ? Qu'implique cette reprise des activités physiques au niveau individuel ? Et comment aider les professionnels impliqués dans la prise en charge à mieux accompagner ces jeunes ?

Dans ce contexte et après avoir détaillé dans une première partie l'état actuel des connaissances sur la genèse de l'obésité et l'impact de l'excès de poids sur le conditionnement physique, nous évoquerons, dans une seconde partie, comment l'activité physique intégrée à la prise en charge de l'obésité peut répondre de manière pertinente à ce problème de santé publique. Enfin, nous présenterons notre contribution personnelle (en partie publiée à ce jour) sur la validation d'outils explorant la capacité cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse : tests d'aptitude de terrain adaptés, variabilité de la fréquence cardiaque, échelle de perception de l'effort (COPE-10). À mi-chemin entre la santé, l'éducation et l'activité physique et sportive, fort est de constater que les acteurs de la prise en charge en activités physiques manquent d'outils, communément partagés, permettant une évaluation fiable de la condition physique. Le développement de ces outils de terrain a donc surtout pour objectif de répondre à un besoin croissant des professionnels de l'activité physique qui souhaitent évaluer, chez le jeune obèse, l'endurance cardiorespiratoire et ses variations au cours de l'entraînement. Selon la motivation du jeune, son statut pondéral et son niveau d'aptitude, l'accompagnement par la pratique physique doit être gradué et s'inscrire dans une démarche d'éducation thérapeutique. Ainsi, pour optimiser la mise en place de comportements-santé, une évaluation fréquente et objective de la capacité aérobie doit être proposée dans le suivi des jeunes obèses (Kyrolainen *et al.*, 2010) afin de concevoir et d'individualiser des programmes d'entraînement adaptés.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

CHAPITRE I : OBESITE PEDIATRIQUE

1. DEFINITION ET DIAGNOSTIC

L'obésité est définie par l'Organisation Mondiale de la Santé comme une « accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui représente un risque pour la santé ». Pour un individu, cette accumulation résulte d'un déséquilibre de la balance énergétique, engendré par des apports nutritifs plus importants que les dépenses énergétiques. Ce déséquilibre est influencé par de nombreux déterminants dont les interactions sont complexes et encore insuffisamment élucidées à ce jour. L'obésité est en effet une pathologie multifactorielle qui implique des facteurs génétiques, épigénétiques, physiologiques, métaboliques, comportementaux, sociaux et culturels.

Chez l'enfant, le diagnostic de surpoids et d'obésité est réalisé en pratique clinique par le report sur les courbes de corpulence de référence pour le sexe, de l'Indice de Masse Corporelle : $IMC \text{ (en } \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) = \text{poids (kg) / taille}^2 \text{ (m}^2\text{)}$. Rolland-Cachera *et al.* (1991) ont défini, selon les références françaises, la zone de surpoids au-delà du 97^{ème} percentile (**Figure 1**). Cole et al 2000 ont proposé, quant à eux, dans le cadre de l'International Obesity Task Force (IOTF), des normes internationales afin d'établir des seuils de référence pour les études épidémiologiques sur la prévalence du surpoids comparable entre les pays : surpoids au-dessus de l'IOTF-25 (proche de la courbe du 97^{ème} percentile) et l'obésité au-dessus de l'IOTF-30 (**Figure 1**). Plus récemment, Cole & Lobstein (2012) ont défini l'obésité sévère au-delà de l'IOTF-35.

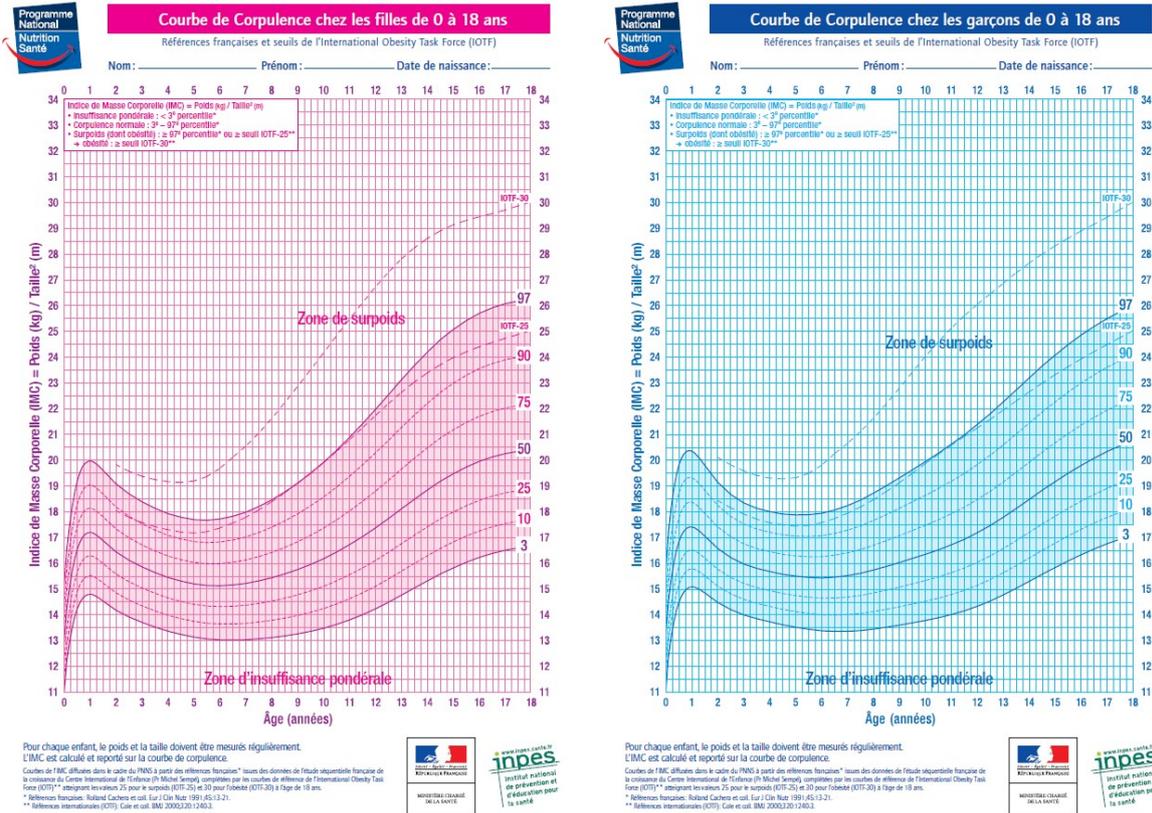


Figure 1 : Superposition des seuils de référence du surpoids et de l'obésité selon les références internationales (IOTF) sur les courbes de référence françaises pour les filles (rose) et les garçons (bleu) (INPES, 2011).

Pour une évaluation plus fine de l'excès de poids, le « z-score d'IMC » permet d'obtenir une indication chiffrée de la déviation par rapport à la médiane pour le sexe et l'âge (Rolland-Cachera, 2011). Il est égal à la différence entre l'IMC observé (IMC_o) et la médiane de la population de référence pour l'âge et le sexe (IMC_m), divisée par l'Ecart Type (ET) de la population de référence : z-score IMC = $(IMC_o - IMC_m) / ET$. Il est utile dans la prise en charge puisqu'il permet de suivre l'évolution de l'obésité indépendamment de l'âge et du sexe.

Par ailleurs, le rapport du tour de taille sur la taille de l'enfant est une façon simple d'évaluer l'adiposité abdominale. Il témoigne d'un risque cardiovasculaire plus élevé, si la valeur est supérieure à 0,5 (Mokha *et al.*, 2010).

2. PREVALENCE DU SURPOIDS ET DE L'OBESITE

2.1. Prévalence au niveau international

Sur le plan mondial, De Onis *et al.* (2010) estimaient en 2010 que 43 millions d'enfants d'âge préscolaire étaient en surpoids. Ce nombre d'enfants devrait atteindre statistiquement 60 millions à l'horizon 2020 avec de grandes disparités entre les pays. Gupta *et al.* (2012) rapportent que, dans certains pays en transition économique (Inde, Mexique, Brésil, Argentine, Costa Rica, Afrique du sud), la prévalence du surpoids chez les 5 – 19 ans est déjà supérieure à 20% et ne cesse d'augmenter. Par ailleurs, Olds *et al.* (2011) décrivent un ralentissement dans l'augmentation de la prévalence de l'obésité infantile dans les zones développées. Une stabilisation semble acquise depuis plusieurs années en France, en Angleterre, en Suisse, en Suède, en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis, mais elle reste à confirmer en Chine, au Pays Bas et en Australie. Cependant dans ces 9 pays, le pourcentage de jeunes en surpoids s'établit à des niveaux différents selon le sexe, l'âge, le statut socioéconomique ou encore l'origine ethnique. À titre d'exemple, 34,3% des jeunes Américains présentent un surpoids contre 10,9% des jeunes Néerlandais. Enfin, l'étude de Haug *et al.* (2009), qui utilise la même méthodologie pour estimer et comparer la prévalence du surpoids chez les jeunes au niveau Européen, indique que ce sont les pays du sud de l'Europe et certaines régions du Royaume-Uni qui restent les zones les plus préoccupantes (**Figure 2**).

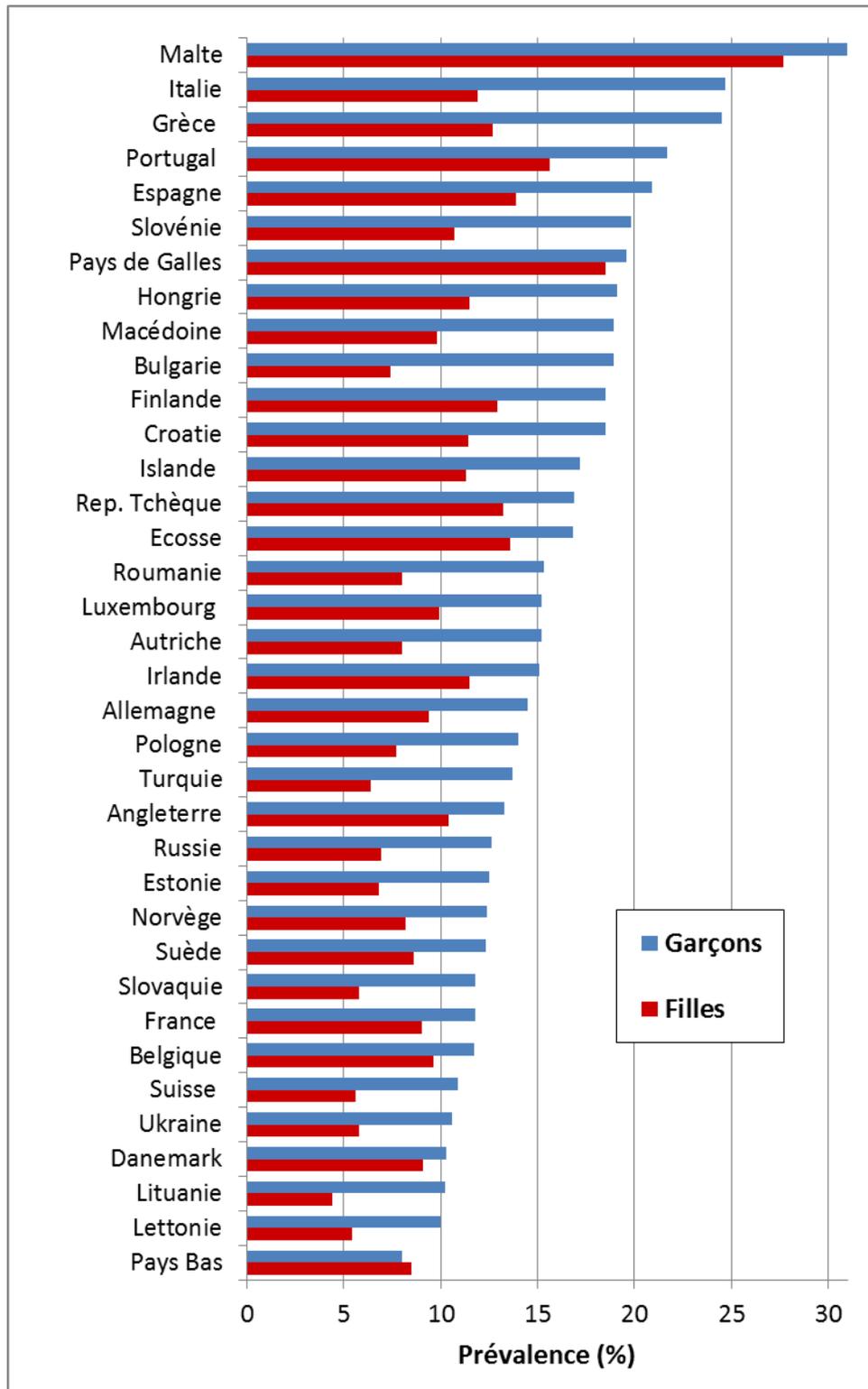


Figure 2 : Prévalence du surpoids (obésité incluse) chez les enfants âgés de 11 à 15 ans dans 36 pays et territoires du continent Européen. Adaptée de Haug et al. (2009).

2.2. Prévalence au niveau national

En France, les études épidémiologiques montrent bien chez l'enfant et l'adolescent, tout comme chez l'adulte, un ralentissement significatif de l'augmentation de la prévalence du surpoids et de l'obésité. Depuis le début des années 2000, la prévalence s'est stabilisée (Lioret *et al.*, 2009; Salanave *et al.*, 2009) mais reste variable selon l'âge : 12,1% chez les 5 - 6 ans (dont 3,1% d'obésité), 19,7% chez les 10 - 11 ans (dont 3,7% d'obésité) et 16,8% chez les 14 - 15 ans (dont 4,4% d'obésité) (Olds *et al.*, 2011). Cette stabilisation concerne toutes les classes socioéconomiques, même si les classes les plus défavorisées restent les plus touchées (Girardet *et al.*, 2009). Elle peut s'expliquer en partie par la mise en œuvre de programmes de santé publique visant à améliorer l'état de santé de la population en promouvant l'activité physique et en améliorant l'alimentation des Français (Cf. Chapitre 1-5.2 : *Prévention et Prise en charge*).

Chez l'adulte, l'enquête ObEpi-Roche (2012) rapporte que 32,3% des Français sont en surpoids et que 15% sont obèses. En 1997, cette prévalence comparable chez les hommes et les femmes, est devenue significativement supérieure chez les femmes (15,7% vs 14,3%) en 2012. Même si la prévalence est globalement ralentie chez l'adulte, l'augmentation reste néanmoins plus importante chez les 18 - 24 ans (+ 35% entre 2009 et 2012), d'où l'importance d'agir chez les plus jeunes.

2.3. Prévalence au niveau régional

Les Directions des Services Départementaux de l'Éducation Nationale (DSDEN) de la région Franche-Comté travaillent depuis 2005 en partenariat avec le Réseau de Prévention et de Prise en charge de l'Obésité Pédiatrique en Franche-Comté (RéPPOP-FC) pour améliorer la prévention de l'obésité des jeunes Franc-Comtois, notamment par le dépistage systématique mis en place en classe de 6^{ème}. Les données de la corpulence des élèves sont collectées depuis 3 ans dans les collèges publics de la région par les infirmières de la DSDEN. Actuellement 17,8% des jeunes Franc-Comtois sont en surpoids. Ces données, en cours de publication, montrent une disparité régionale dans la prévalence du surpoids, la plus élevée se situant dans les départements de la Haute-Saône et du Territoire de Belfort (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Évolution de la prévalence du surpoids en Franche-Comté et dans chaque département.

	2010	2011	2012	p
FRANCHE-COMTE	n = 10173	11000	11351	
	15,64%	15,38%	16,32%	0,24
	17,08%	16,74%	17,83%	0,18
DOUBS	n = 4838	5024	5342	
	14,70%	14,33%	15,91%	0,13
	15,83%	15,76%	17,37%	0,11
HAUTE SAONE	n = 2431	2144	2376	
	18,59%	17,63%	17,30%	0,60
	20,65%	18,94%	18,94%	0,37
JURA	n = 1892	2611	2464	
	14,53%	14,21%	15,63%	0,45
	16,07%	15,55%	17,05%	0,46
TERRITOIRE DE BELFORT	n = 1012	1221	1169	
	15,12%	18,26%	17,2%	0,22
	16,40%	19,41%	19,33%	0,24

Données présentées sous forme de pourcentage : Test χ^2

a = Norme Française > 97^{ème} percentile

b = Norme Internationale > IOTF-25

Les zones les plus touchées se situent dans le nord de la Haute Saône, le Pays de Montbéliard jusqu'au plateau de Maîche, le Haut Jura et la périphérie de Belfort (**Figure 3**). Ces résultats peuvent s'expliquer par une population issue de catégories socioprofessionnelles plus modestes vivant dans les périphéries de ces villes ou dans des milieux ruraux isolés.

Le **tableau 2** indique que l'IMC moyen (env. 18,5 kg.m⁻²) à l'entrée en 6^{ème} reste stable entre 2010 et 2012 dans les deux sexes, avec toutefois une prévalence légèrement supérieure chez les garçons comparée à celles des filles (18,29% vs 17,36%). L'ensemble de ces résultats (**Tableaux 1 et 2**) montre qu'en Franche-Comté la prévalence d'obésité est stable au cours de ces trois dernières années (p = non significatif).

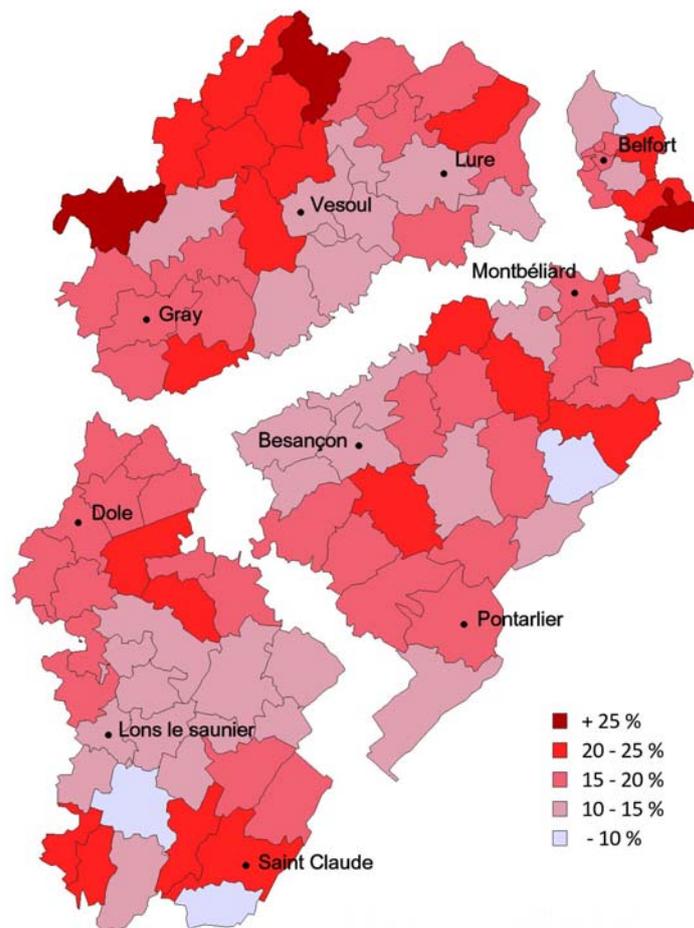


Figure 3 : Prévalence du surpoids dans les collèges de Franche-Comté - Norme Française > 97^{ème} percentile.

Tableau 2 : Évolution de l'IMC moyen et de la prévalence de l'excès de poids chez les filles et les garçons en Franche-Comté.

	Filles				Garçons			
	2010	2011	2012	<i>p</i>	2010	2011	2012	<i>p</i>
<i>n</i>	5027	5376	5565		5146	5624	5786	
IMC moyen	18,56 ± 3,47	18,48 ± 3,46	18,55 ± 3,42	0,29	18,49 ± 3,30	18,44 ± 3,29	18,54 ± 3,41	0,44
Surpoids	12,93%	13,26%	14,12%	0,26	14,09%	13,03%	14,33%	0,18
Obésité	3,08%	2,75%	2,66%	0,41	2,90%	3,17%	3,25%	0,57
Obésité sévère	0,62%	0,61%	0,58%	0,95	0,54%	0,64%	0,71%	0,56
TOTAL	16,63%	16,63%	17,36%	0,61	17,53%	16,84%	18,29%	0,24

Données présentées sous forme de moyenne ± déviation standard pour l'IMC : Test Student

Données présentées sous forme de pourcentage pour la prévalence : Test χ^2

Normes internationales : Surpoids : IOTF > 25 - < 30 ; Obésité : IOTF > 30 - < 35 ; Obésité sévère : IOTF > 35

3. FACTEURS ETIOLOGIQUES : GENETIQUE, EPIGENETIQUE ET ENVIRONNEMENT

Chez l'enfant, en dehors des rares obésités secondaires (endocriniennes, iatrogènes ou syndromiques tels que le syndrome de Prader Willi ou de Bardet Biedl), la plupart des obésités sont dites communes. Ce type d'obésité n'est pas simplement une maladie chronique s'exprimant chez les enfants génétiquement déterminés soumis à un environnement « obésogène ».

L'épigénétique rend compte aujourd'hui des interrelations entre l'environnement (psycho-comportemental, alimentaire, activité-sédentarité, mode de vie...) et l'épimutation des gènes (activation ou inhibition de l'expression de certains gènes par la méthylation de l'ADN par exemple) (Junien & Nathanielsz, 2007). Ces mécanismes par lesquels l'environnement peut modifier l'expression des gènes semblent impliqués dans de nombreuses régulations du contrôle de l'appétit, de l'adipogénèse, du rendement métabolique de base, de la thermogénèse, ou encore de l'activité physique (Ricour & Tauber, 2008). La programmation du phénotype individuel qui en résulte pourra induire une obésité ultérieure dans l'enfance voire à l'âge adulte. La prédisposition au surpoids d'origine génétique, modulée par cette influence épigénétique, peut exister dès la période périnatale.

3.1. Facteurs prénataux

De nombreuses études s'accordent à démontrer une relation entre le surpoids des parents, et celui de leurs enfants. Agras & Mascola (2005) avaient déjà établi que le surpoids parental était le facteur de risque le plus important de l'obésité chez l'enfant. Cette relation a été récemment confirmée en région Aquitaine par Thibault *et al.* (2010). Par ailleurs, Li *et al.* (2005) avaient montré que le risque d'obésité infantile était multiplié par plus de quatre lorsque la mère était obèse avant la grossesse.

Boney *et al.* (2005) ont aussi montré que le diabète gestationnel chez la mère est un facteur de risque, non seulement d'apparition d'anomalies métaboliques, mais aussi d'obésité ultérieure chez l'enfant à naître. Pour ce qui concerne le tabagisme maternel, les méta-analyses de Oken *et al.*

(2008), et de Ino (2010) ont démontré que l'exposition prénatale au tabac était liée à une augmentation du risque de surpoids dans l'enfance.

L'ensemble de ces facteurs peuvent intervenir, entre autre, sur la croissance fœtale qui a, elle aussi, un lien avec l'évolution corporelle ultérieure de l'enfant. Une étude rétrospective conduite en Franche-Comté sur 341 enfants en surpoids ou obèses a identifié que 17,9% de ces jeunes étaient nés macrosomes, contre 5 à 9% dans la population française générale (Perry, 2010). Ces observations ont été confirmées au niveau international par la méta-analyse de Schellong *et al.* (2012) qui précise qu'un poids de naissance supérieur à 4 kg est associé à un risque accru de surpoids ultérieur (Odds Ratio = 1,66). Par ailleurs, le suivi de la cohorte de Haguenau a permis d'établir que les enfants nés de petit poids pour l'âge gestationnel et suivis jusqu'à l'âge de 30 ans présentaient une importante augmentation de la masse grasse, localisée notamment au niveau de l'abdomen (Leger *et al.*, 1998). Un poids de naissance trop important ou trop faible est donc un facteur de risque ultérieur de surpoids et d'anomalies métaboliques.

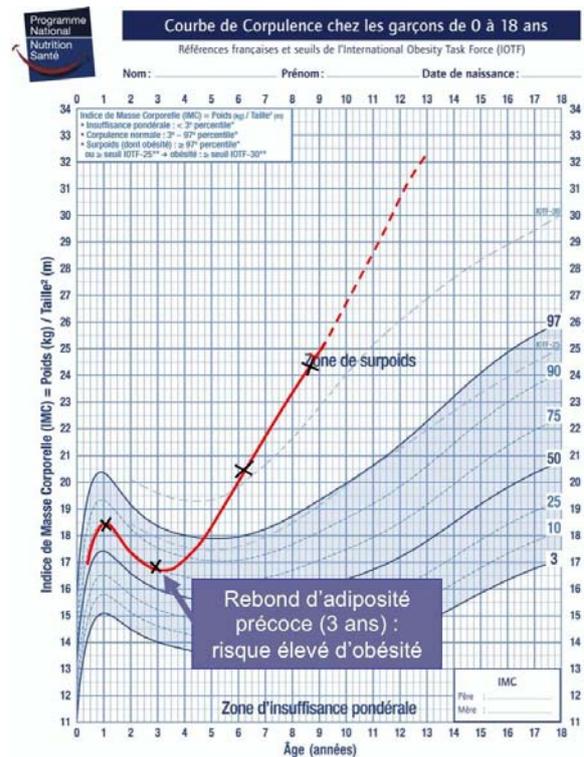
3.2. Facteurs post-nataux

L'enfant prédisposé à l'obésité présentera très tôt dans la vie un développement pondéral différent des autres enfants. Dans une méta-analyse, Ong & Loos (2006) ont rapporté qu'un gain pondéral accéléré pendant les premiers mois de vie était associé à un risque d'obésité multiplié par 2 à 3 dans l'enfance. L'Organisation Mondiale de la Santé en 2007 a, quant à elle, conclu que l'allaitement maternel avait un effet protecteur faible sur la prévalence de l'obésité (OMS, 2007).

Par la suite, l'évolution de la corpulence chez l'enfant sera différente avec l'apparition d'un rebond d'adiposité précoce (**Figure 4**). Dès les années 80, Rolland-Cachera *et al.* (1984) ont mis en évidence une relation entre l'âge du rebond d'adiposité et l'adiposité finale d'un enfant : l'IMC est significativement plus élevé chez les enfants dont le rebond d'adiposité est précoce, c'est-à-dire situé avant 6 ans. L'étude de Whitaker *et al.* (1998) basée sur les dossiers médicaux de 390 enfants américains a permis de montrer qu'un rebond d'adiposité précoce est associé à un risque d'obésité

plus important, indépendamment de l'obésité parentale. L'étude d'une cohorte de 458 personnes (Williams & Goulding, 2009), suivies de la naissance à l'âge de 26 ans, montre qu'à l'âge de 26 ans le risque relatif d'être obèse est multiplié par 5,91 pour un enfant qui présente un rebond d'adiposité précoce. Ainsi, plus l'âge du rebond d'adiposité est précoce, plus le risque de devenir obèse est important.

Figure 4 : Courbe de corpulence d'un garçon obèse de 9 ans présentant un rebond d'adiposité précoce à 3 ans.



3.3. Facteurs environnementaux

Au-delà des facteurs liés aux évènements péri- et post-nataux, d'autres facteurs liés à l'environnement et au mode de vie des enfants ont un impact sur leur corpulence. Le niveau socio-économique de la famille, les modèles alimentaires, la sédentarité, la pratique ou non d'activités sportives, la qualité et la quantité de sommeil jouent un rôle prépondérant.

La Direction de la Recherche des Études de l'Évaluation et des Statistiques (Guignon *et al.*, 2010) a étudié, entre 2005 et 2006 sur 23000 élèves âgés de 5 à 6 ans, l'influence de la catégorie socio-professionnelle des pères sur l'IMC de leurs enfants. En prenant en compte l'appartenance ou non à une école de Zone d'Éducation Prioritaire, le type de famille, les habitudes de vie et la région, les enfants issus d'une famille dont le père est ouvrier présentent 3,6 fois plus de risque d'être obèses que des enfants dont le père est cadre.

Concernant l'alimentation, les principaux déséquilibres observés sont dus à une consommation excessive d'aliments à haute densité énergétique. En effet, les jeunes obèses ont un taux de détection plus faible de certains saveurs : sucrée (Pasquet *et al.*, 2007) et salée (Overberg *et al.*, 2012). La publicité, la disponibilité et la palatabilité accrues des aliments gras et sucrés sont autant de raisons favorisant leur consommation (Forman *et al.*, 2009; Keller *et al.*, 2012). Cependant tous les enfants, mêmes placés dans un environnement identique, n'ont pas la faculté de consommer plus que leurs besoins. Il a été montré que les nourrissons ont une capacité d'auto-ajustement par rapport aux prises alimentaires. Passé un an, cette capacité décroît. Divers auteurs, dont Natalie Rigal (2011), ont mis en évidence que certains comportements éducatifs pouvaient influencer cet auto-ajustement. Le fait, par exemple, de contraindre son enfant à finir son assiette renforce les signaux externes de consommation, plutôt que les signaux internes de faim et de satiété. A l'inverse, il apparaît aussi dans l'étude de Birch & Fisher (2000) que lorsque les parents exercent un contrôle excessif de l'alimentation de leurs enfants, ce comportement contribue à l'apparition du surpoids chez l'enfant. Berge (2009) a montré qu'entre les quatre différents styles éducatifs parentaux (permissif, négligeant, autoritaire ou démocratique), le style démocratique favorisait une alimentation plus saine et un plus faible IMC. Ce style signifie un fonctionnement apportant un soutien émotionnel, encourageant l'échange verbal, dans lequel l'autorité parentale affirme les qualités de l'enfant mais établit aussi des normes de conduite future. Il favorise l'autonomie de manière appropriée et instaure une communication permettant le développement harmonieux de l'enfant. Ainsi l'excès alimentaire est favorisé par une société facilitant l'accès à une nourriture riche et abondante, et trouve son origine aussi dans l'éducation que les parents donnent à leurs enfants vis-à-vis de l'alimentation.

Quant à la sédentarité, elle se retrouve souvent dans les comportements des enfants en situation d'obésité ou de surpoids. Elle est définie comme « un état dans lequel les mouvements sont réduits au minimum, et la dépense énergétique est proche du métabolisme énergétique au repos ». La

sédentarité provient d'ailleurs du latin « sedere » qui signifie « être assis ». Les comportements sédentaires chez les enfants sont induits par le temps passé devant la télévision, l'ordinateur, les consoles vidéo, ou encore devant les téléphones portables et tablettes. Gortmaker *et al.* (1996) avaient d'ailleurs déjà identifié la télévision comme étant la principale cause de sédentarité chez les enfants et les adolescents dans la plupart des pays développés, et qui était en lien avec la prévalence de l'obésité. Plus proche de nous, l'Intervention auprès des Collégiens centrée sur l'Activité Physique et la Sédentarité (ICAPS), réalisée dans 8 collèges Alsaciens entre 2002 et 2006, a montré que la simple présence d'une télévision dans la chambre était associée à un IMC plus élevé indépendamment du temps de pratiques physiques (Delmas *et al.*, 2007). Avec l'évolution de la société, ce sont d'autres écrans qui sont prisés par les jeunes. Le temps passé à utiliser un ordinateur et le téléphone portable est aussi associé à un risque accru de surpoids (Lajunen *et al.*, 2007). La méta-analyse de Tremblay *et al.* (2011) montre une relation dose-réponse entre l'augmentation de la sédentarité et un état de santé défavorable chez les jeunes : regarder un écran pendant plus de 2 heures par jour est corrélé à une augmentation de l'IMC, une diminution de la condition physique, une baisse de l'estime de soi et de la sociabilité ainsi qu'à une baisse des performances scolaires.

Plusieurs études étayaient la relation inverse entre l'obésité et les pratiques physiques (Marshall *et al.*, 2004; Must & Tybor, 2005). Les études récentes mesurant l'activité physique par accélérométrie indiquent, qu'avec l'âge, les enfants et les adolescents des pays industrialisés deviennent moins actifs (Colley *et al.*, 2011) et que l'activité physique des jeunes obèses est toujours plus basse que celle de leurs homologues normo-pondérés (Martinez-Gomez *et al.*, 2010). Selon cette dernière étude, un adolescent qui ne pratique pas 60 minutes d'activités physiques modérées par jour, dont 15 minutes d'activités physiques vigoureuses, a un risque accru de surpoids (Odds Ratio = 1,24). De plus, l'intensité de l'activité physique est un facteur prédominant par rapport à la quantité totale d'activités (Ness *et al.*, 2007; Laguna *et al.*, 2013).

Néanmoins, Prentice-Dunn & Prentice-Dunn (2012) rappellent que les études actuelles ne permettent pas de préciser si le niveau d'activités physiques ou la sédentarité qui représentent deux variables indépendantes, sont les causes ou les conséquences de la surcharge pondérale chez les enfants et les adolescents.

En cas de manque de sommeil, diverses études (Knutson *et al.*, 2007; Leproult & Van Cauter, 2010) ont démontré que la sécrétion de certaines hormones, notamment les adipokines, impliquées dans la satiété, la sensation de faim et la dépense énergétique, était altérée. Le manque de sommeil serait responsable d'une stimulation de l'appétit. Chen *et al.* (2008) ont mis en évidence que les enfants ayant une durée de sommeil plus courte, par rapport aux durées de sommeil recommandées pour l'âge, présentent un risque plus élevé d'être en surcharge pondérale (Odds Ratio = 1,60). Pour chaque heure de sommeil supplémentaire, le risque de surpoids ou d'obésité diminue de 9%.

Enfin, des facteurs psychologiques et psychopathologiques sont impliqués dans l'apparition de l'obésité à l'adolescence. Dans la méta-analyse de Blaine (2008), les adolescentes souffrant de dépression ont significativement 2,5 fois plus de risque de présenter un surpoids ou une obésité, par rapport aux adolescentes non dépressives. L'hyperphagie boulimique est elle aussi incriminée dans l'apparition d'une surcharge pondérale ou d'une obésité (Field *et al.*, 2003) tout comme les stratégies inappropriées de contrôle du poids (Goldschmidt *et al.*, 2008) telles que le jeûne, les vomissements déclenchés, l'utilisation de laxatifs ou de diurétiques. Enfin, une relation entre l'apparition de l'obésité et des situations de maltraitance ou de négligences a pu être mise en évidence par Gilbert *et al.* (2009).

En résumé, bien que l'obésité résulte, à l'échelle individuelle, d'un déséquilibre de la balance énergétique, en raison d'apports alimentaires plus importants que la dépense énergétique, de très nombreux déterminants favorisent ce déséquilibre rendant cette pathologie et sa prise en charge complexes.

4. COMPLICATIONS ET COMORBIDITES DE L'OBESITE

Le **tableau 3** extrait des recommandations de bonnes pratiques : « Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent » (HAS, 2011) issu du groupe de travail de la Haute Autorité de Santé auquel nous avons participé de novembre 2010 à septembre 2011, résume les principales complications, les signes évocateurs à rechercher et les conduites à tenir chez les enfants en surpoids ou obèses.

Dans ce tableau, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la problématique du « déconditionnement à l'effort » chez l'adolescent obèse pour orienter nos travaux de recherche.

Tableau 3 : Complications et comorbidités, conduite à tenir et indications d'examens complémentaires (HAS, 2011).

Pathologies recherchées	Signe(s) évocateur(s)	Conduite à tenir
Complications psychologiques		
Troubles dépressifs	Symptomatologie dépressive Tristesse, irritabilité Agitation, ralentissement Somatisation Asthénie, repli sur soi Hypersomnie ou insomnie Autodévalorisation, culpabilité Idées suicidaires	Consultation spécialisée
Troubles anxieux	Phobie sociale, inhibition Angoisse de séparation Attaques de panique Troubles obsessionnels compulsifs Stress post-traumatique	
Troubles du comportement	Agitation, opposition, difficultés attentionnelles, impulsivité, provocation, mensonge, vol Agressivité verbale ou physique Difficultés familiales et sociales	
Troubles des conduites alimentaires	Hyperphagie boulimique Syndrome d'alimentation nocturne	
Addictions	Abus de substances psychoactives (alcool, tabac, cannabis, etc.) Perte de contrôle (jeu pathologique, achats compulsifs, etc.)	

Pathologies recherchées	Signe(s) évocateur(s)	Conduite à tenir
Complications cutanées (inspection systématique de la peau)		
Vergetures (ventres, cuisses, bras)	Vergetures rosées	Conseils : expliquer le mécanisme d'apparition de la vergeture
	Vergetures larges et violacées et/ou verticales pathologiques	Consultation spécialisée endocrinologie
Hypertrichose chez la jeune fille	Pilosité excessive des zones sous la dépendance des androgènes : cuisses, thorax, seins, visage (favoris, lèvre supérieure)	Avis spécialisé endocrinopédiatrique Dosage des androgènes
Mycoses	Inflammation des plis	Traitement local
Acanthosis nigricans	Pigmentation anormale (aspect « sale ») des plis : aisselles, cou...	Consultation spécialisée endocrinopédiatrique Recherche d'insulinorésistance
Complications orthopédiques :		
Epiphysiolyse de la tête fémorale	Puberté (poussée de croissance) Douleurs de hanche et du genou Boiterie à l'examen Hanche en rotation externe avec limitation de la rotation interne	Urgence Avis spécialisé orthopédique Radiologies bassin face et hanche profil et abduction IRM si doute
Pieds plats	Gêne Repercussions orthopédiques Douleurs	Avis spécialisé
<i>Genu valgum</i>	Hyperécartement des chevilles non corrigé en serrant fort les cuisses en charge	Consultation spécialisée
Syndrome fémoro-patellaire	Gonalgies	Radiologies et avis spécialisé
Anté-torsion fémorale	Gêne à la marche	Avis spécialisé
Rachialgies	Douleurs du rachis fréquentes	Avis spécialisé
Troubles de la statique vertébrale (Scoliose, Cyphose, etc.)	Anomalie à l'examen du rachis	Radiologies et avis spécialisé
Epiphysite de croissance : Maladie de Osgood-Schlatter Maladie de Sever Maladie de Scheuermann	Gonalgies Talalgies Dorsalgie avec ou sans cyphose	Bilan radiologique avec ou sans avis spécialisé

Pathologies recherchées	Signe(s) évocateur(s)	Conduite à tenir
Complications cardiovasculaire et respiratoires :		
Hypertension artérielle	Pression artérielle élevée	Prise de la pression artérielle avec un brassard adapté Holter tensionnel si les valeurs de pression artérielle sont élevées
Asthme (souvent associé et pouvant être aggravé par l'obésité)	Essoufflement, toux, sibilants, crises de dyspnée, asthme d'effort (toux à l'effort)	Avis spécialisé si non contrôlé
Déconditionnement à l'effort	Mauvaise tolérance à l'effort (essoufflement, sensation de palpitations, malaises)	Consultation spécialisée et épreuve fonctionnelle respiratoire et/ou test d'aptitude à l'effort
Troubles respiratoires du sommeil dont apnées du sommeil	Ronflements Réveils nocturnes Somnolence diurne Baisse des résultats scolaires	Consultation ORL Consultation spécialisée du sommeil Enregistrement polysomnographique
Complications endocriniennes		
Puberté avancée liée à l'obésité	Plutôt chez la fille	Age osseux Avis spécialisé si avance d'âge osseux
Syndrome des ovaires polykystiques associé à un contexte métabolique	Spanioménorrhée +/- hypertrichose +/- acné	Recherche d'insulinorésistance Avis spécialisé
Retard pubertaire	Plutôt chez le garçon	Avis spécialisé Age osseux
Verge enfouie	Taille apparente réduite Verge de taille normale à l'examen	Expliquer et dédramatiser NB : en cas de micropénis vrai (suspicion d'hypogonadisme) : avis spécialisé
Gynécomastie	Développement de la glande mammaire chez le garçon	Différencier de l'adipomastie Avis spécialisé Conseils : expliquer le mécanisme et la possible amélioration Aborder la possibilité de traitement chirurgical chez le garçon en fin de croissance

Pathologies recherchées	Signe(s) évocateur(s)	Conduite à tenir
Complications métaboliques		
Dyslipidémie	Pas de signe spécifique	Si obésité : recherche systématique Cholestérol et triglycérides HDL-C, LDL-C
Stéatose hépatique	Pas de signe spécifique ou hépatalgie	Si obésité : Transaminases (ASAT, ALAT)
Insulinorésistance Intolérance au glucose Diabète de type 2	Pas de signe spécifique hormis l'acanthosis nigricans	Si obésité : Glycémie à jeun
	Si antécédent familial de diabète et un des facteurs de risques suivants (recommandation de l'American Diabetes Association ¹ pour enfants > 10 ans) : - obésité - rapport tour de taille / taille > 0,5 - acanthosis nigricans - syndrome des ovaires polykystiques - populations prédisposées	Glycémie à jeun Insulinémie à jeun Hémoglobine glyquée A1c Hyperglycémie provoquée orale Avis spécialisé en endocrinodiabétologie

5. DEPISTAGE, PREVENTION ET PRISE EN CHARGE

5.1. Dépistage

L'évolution de l'IMC reflète celle de la corpulence de l'enfant. Au cours de la croissance, la corpulence varie de manière physiologique. Elle augmente la première année de la vie (jusqu'à l'acquisition de la marche) puis diminue jusqu'à l'âge de 6 ans et croît à nouveau jusqu'à la fin de la croissance. Un enfant présente une corpulence normale lorsque celle-ci évolue de manière régulière et harmonieuse entre le 3^{ème} et le 97^{ème} percentile des courbes de références françaises. Une remontée de la courbe de l'IMC observée avant l'âge de 6 ans est appelée rebond d'adiposité précoce.

A titre d'exemple, en Franche-Comté, il a été montré que sur 341 enfants en surpoids accueillis en hospitalisation de jour au CHRU de Besançon, 90% présentent un rebond d'adiposité précoce à un âge moyen de 2,5 ans (Perry, 2010). C'est bien la dynamique ascendante de la courbe de corpulence, au-delà du 97^{ème} percentile, qui permet de dépister un surpoids. Néanmoins, à tout âge un changement de couloir de percentile vers le haut peut-être un signe de risque de surpoids. Les courbes de corpulence établies pour chaque sexe figurent dans les carnets de santé des enfants Français depuis 1995 (Rolland-Cachera *et al.*, 1991). Les pédiatres, médecins généralistes, médecins et infirmières de la Protection Maternelle et Infantile sont les professionnels de santé de premier recours pour dépister au plus tôt ce problème de santé.

5.2. Prévention

Face à l'augmentation de la prévalence de l'obésité pédiatrique, les pouvoirs publics ont élaboré des stratégies préventives et curatives. Lancé en 2001, le Programme National Nutrition Santé (PNNS) est un plan de santé publique visant à améliorer l'état de santé de la population française en agissant sur l'un de ses déterminants majeurs : la nutrition. Pour le PNNS, la nutrition s'entend comme l'équilibre entre les apports liés à l'alimentation et les dépenses occasionnées par l'activité physique. Le PNNS

2011-2015 (Ministère de la Santé, 2011) a été élaboré pour répondre aux objectifs nutritionnels fixés par le Haut Conseil de la Santé Publique :

1. Réduire l'obésité et le surpoids dans la population.
2. Augmenter l'activité physique et diminuer la sédentarité à tous les âges.
3. Améliorer les pratiques alimentaires et les apports nutritionnels, notamment chez les populations à risque.
4. Réduire la prévalence des pathologies nutritionnelles : dénutrition, troubles du comportement alimentaire.

Ce programme s'articule en complémentarité avec le plan obésité 2010-2013 (Ministère de la Santé, 2010) qui comporte, quant à lui, 4 axes prioritaires :

1. Améliorer l'offre de soins et promouvoir le dépistage chez l'enfant et chez l'adulte.
2. Mobiliser les partenaires de la prévention, agir sur l'environnement et promouvoir l'activité physique.
3. Prendre en compte les situations de vulnérabilité et lutter contre les discriminations.
4. Investir dans la recherche.

À titre d'exemple, les comportements en activité physique chez les jeunes sont influencés par de nombreux facteurs (**figure 5**). La prévention du surpoids chez l'enfant doit donc s'inscrire dans une approche systémique. Les politiques au niveau local, régional et national agissent directement et indirectement sur l'environnement physique et social du jeune ainsi que sur les comportements individuels en termes de santé (Nader *et al.*, 2012). Différents axes doivent être abordés simultanément. L'expérience ICAPS a montré qu'en agissant à la fois sur :

- l'environnement physique : en sécurisant des lieux de pratique (piste cyclable, parc), en élargissant l'ouverture des infrastructures sportives,
- le support social : en incitant les adultes (parents, éducateurs, enseignants) à faciliter ou organiser l'accès à des pratiques physiques régulières,

- les individus : en informant les jeunes des bénéfices d'une pratique physiques régulière, tout en les incitant à pratiquer plus l'activité sportive, permettait d'agir sur le niveau d'activités physiques des jeunes et avait un effet préventif sur l'obésité et ses facteurs de risques (Simon *et al.*, 2008).

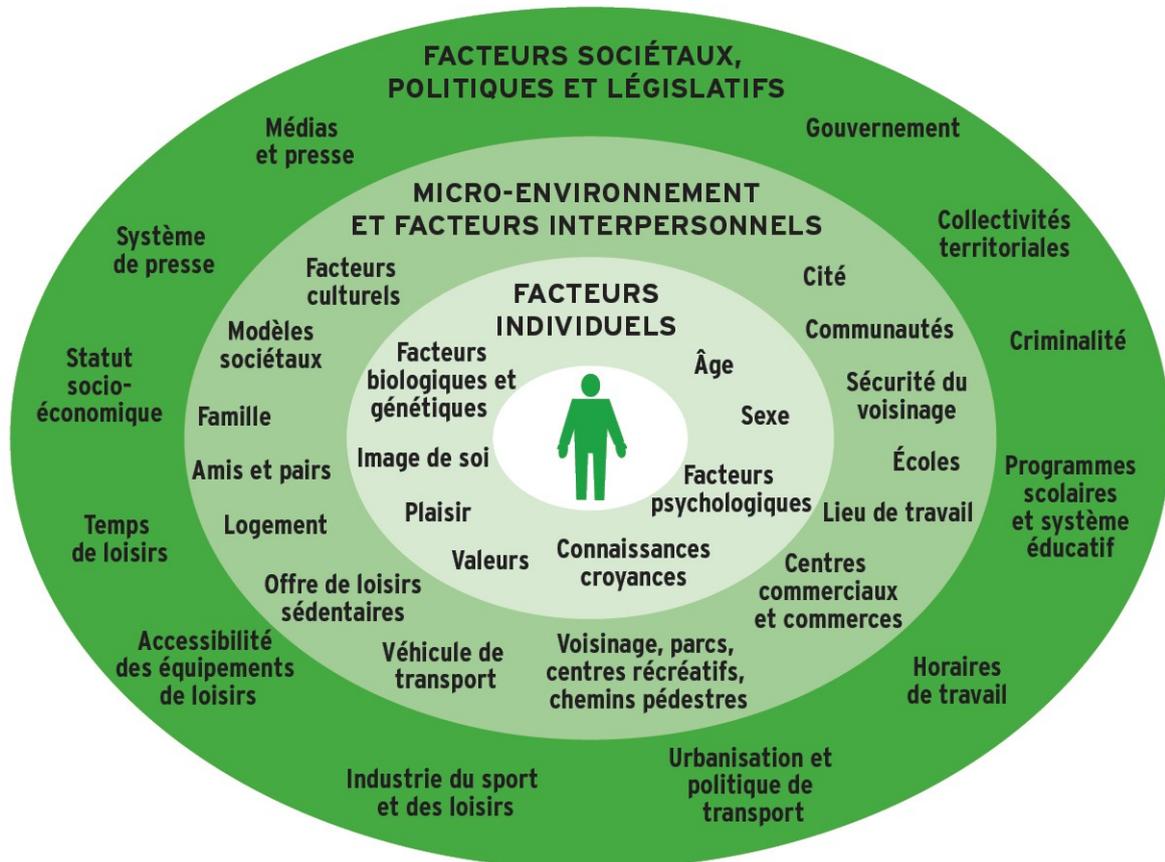


Figure 5. Facteurs qui influencent la pratique d'activités physiques. Adaptée de Booth *et al.* (2001)

5.3. Prise en charge

Les autorités sanitaires de la région Franche-Comté ont été précurseurs sur la question de l'obésité infantile tout comme celles des régions Midi-Pyrénées, Ile-de-France, Rhône-Alpes et Aquitaine. Un Réseau pour la Prévention et pour la Prise en charge de l'Obésité Pédiatrique (RéPPOP-FC) a été financé. Ce réseau de soin ville-hôpital a pour objet d'accompagner l'enfant et l'adolescent en surpoids et leurs familles dans une approche pluridisciplinaire. La prise en charge a pour objectif l'autonomie du jeune et de sa famille dans la mise en place de changements durables de ses habitudes de vie. C'est un processus continu, intégré dans les soins et centré sur le patient qui

repose sur les principes de l'éducation thérapeutique et dans lequel la formulation positive d'objectifs permet une modification du comportement à long terme. La diminution des apports énergétiques passe par une déculpabilisation autour des aliments, une remise en question des habitudes alimentaires, en vue d'un retour progressif vers une alimentation équilibrée. L'accompagnement psychologique permet de traiter les troubles du comportement alimentaire, le renforcement de l'estime de soi et de l'image du corps et enfin le soutien de la motivation. L'optimisation des dépenses énergétiques se traduit par l'analyse des comportements sédentaires, responsables d'une altération de la condition physique en proposant un accompagnement progressif vers une reprise d'activités physiques régulières. La perte de poids n'est pas un objectif prioritaire chez le jeune en surpoids particulièrement au cours de la croissance. Le but est de diminuer le degré d'obésité et les facteurs de risques associés, l'indicateur principal étant la stabilisation puis la baisse du z-score d'IMC.

L'orientation d'un jeune en surpoids vers une prise en charge dépend de l'association de différents critères de gravité :

- le niveau d'excès de poids,
- l'existence de comorbidités ou de complications,
- le contexte psychopathologique et sociologique familial,
- l'existence de prise(s) en charge antérieure(s).

En Franche-Comté, un parcours de soin concerté en trois niveaux gradués a été défini selon les recommandations médicales actuelles (HAS, 2011) :

- Le niveau I correspond à une prise en charge de proximité en ambulatoire pour les obésités communes. Le médecin traitant de l'enfant réalise l'évaluation initiale puis la coordination des soins. Avec l'aide du RÉPPOP-FC, il met en œuvre le suivi multidisciplinaire en coordonnant autour de l'enfant, dans son cadre de vie, l'activité des différents professionnels (diététicien, psychologue, kinésithérapeute, infirmière...).

- Le niveau II, pour les obésités plus graves, correspond à une prise en charge mettant en lien les acteurs de proximité avec la cellule de coordination du RÉPPOP-FC et les plateaux techniques des Centres Hospitaliers. Concrètement, cette prise en charge peut se traduire par une journée d'hospitalisation de jour permettant une évaluation médicale (pédiatre), un recueil des habitudes alimentaires (diététicienne), un entretien psychologique (psychologue) et un bilan d'activité physique (enseignant en activité physique adaptée). Ce bilan complet a pour priorité de susciter une réflexion personnelle sur chaque situation (représentations du surpoids, raisons pour lesquelles l'enfant a pris trop de poids, habitudes de vie) pour que la famille élabore, avec l'aide des professionnels, des objectifs de changements et de suivis. Des explorations complémentaires (médecin du sport, orthopédiste, endocrinologue, psychiatre, kinésithérapeute), un suivi multidisciplinaire ou des séances d'éducation thérapeutique en groupe sont proposés selon les besoins de l'enfant et de sa famille.
- Le niveau III de prise en charge est proposé dans le service de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) de La Beline situé à Salins-les-Bains, dans le département du Jura. Établissement régi par l'UGECAM Bourgogne Franche-Comté, il accueille des adolescents obèses sévères en court ou moyen séjour dans le cadre de programmes d'éducation thérapeutique. Ce niveau III est proposé en cas d'échec de la prise en charge de niveau II, de comorbidités sévères, de handicap dans la vie quotidienne généré par l'obésité ou lorsque le contexte familial est très défavorable (carence éducative, maltraitance, composante psychiatrique et/ou sociale majeure).

Enfin, face à un échec thérapeutique, et en l'absence de traitement pharmacologique efficace, la chirurgie bariatrique peut, dans des situations très exceptionnelles, être un recours pour les grands adolescents présentant une obésité morbide. Cependant, la question de la place de la chirurgie n'est pas tranchée en France, notamment en raison de ses contre-indications : jeune âge, psychopathologie, complications (25% des sujets, 1% de mortalité), contraintes alimentaires définitives.

CHAPITRE II : OBESITE ET DECONDITIONNEMENT PHYSIQUE

1. CONCEPTS ET DEFINITIONS

1.1. Habiletés motrices

Le concept d'habiletés motrices renvoie aux notions d'efficacité, de précision, d'anticipation et d'économie, dans le but d'atteindre un objectif. Dans le cadre du développement moteur, l'enfant acquiert progressivement différentes habiletés motrices, relatives au contrôle postural, à la locomotion (ramper, marcher, courir, monter et descendre des marches d'escalier...) et à la manipulation d'objets (attraper, lancer, shooter au pied...). La proprioception est au cœur de l'apprentissage de ces compétences motrices et dépend de facteurs physiques, biomécaniques, physiologiques et cognitifs. L'acquisition des habiletés motrices de base est généralement un préalable aux activités physiques. Elles sont d'ailleurs associées positivement à la pratique actuelle et future d'activités sportives chez l'enfant (Barnett *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2011).

1.2. Condition physique

La condition physique se définit comme « la capacité à effectuer des tâches quotidiennes avec vigueur et vigilance, sans fatigue excessive, avec une énergie suffisante pour profiter des activités de loisirs et répondre aux situations d'urgence imprévues » (U.S. Department of Health and Human Services, 1996). Au cours de l'enfance, la condition physique varie en fonction du sexe, de la croissance, de la maturation sexuelle et du niveau d'activité physique. La condition physique regroupe une série de qualités physiques relatives :

→ **à la santé :**

La composition corporelle désigne chez un individu la proportion et la répartition de masse musculaire, de masse grasse, de tissus osseux et autres tissus corporels (organes, compartiments hydriques).

La force musculaire correspond à la capacité du système neuromusculaire à exercer une contraction musculaire.

L'endurance musculaire : correspond à la capacité du muscle à prolonger ou répéter un grand nombre de contractions musculaires sans fatigue excessive.

L'endurance cardiorespiratoire est la capacité des systèmes circulatoire et respiratoire à fournir de l'oxygène aux muscles au cours d'une activité physique prolongée.

→ **à la performance :**

La souplesse est la capacité maximale d'amplitude de mouvement d'une ou plusieurs articulations et d'étirement d'une ou plusieurs chaînes musculaires.

L'équilibre a trait à la capacité de se maintenir en équilibre à l'arrêt (statique) ou tout en se déplaçant (dynamique).

La vitesse est à la capacité à accomplir une action motrice dans un laps de temps minimum.

La puissance musculaire est le produit de la force et de la vitesse. Elle constitue un facteur déterminant dans les activités explosives.

L'agilité est l'habileté de mouvoir son corps, ou une partie de celui-ci, par des changements de direction rapides et précis dans l'espace.

La coordination est la capacité d'utiliser les sens, comme la vue et l'ouïe, ainsi que des parties du corps dans l'exécution des tâches motrices complexes et simultanées.

Le temps de réaction est l'habileté d'initier une réponse motrice le plus rapidement possible à la suite d'un ou de plusieurs stimuli sensoriels.

1.3. Consommation maximale d'oxygène

La consommation maximale d'oxygène ou le $VO_2\text{max}$ représente la quantité maximale d'oxygène qu'un être humain peut prélever, transporter et consommer par unité de temps lors d'un exercice dynamique maximal : $VO_2 = Qc \times DAVO_2$ où Qc représente le débit cardiaque : produit de la Fréquence Cardiaque (FC) et du Volume d'Éjection Systolique (VES) et la $DAVO_2$ constitue la

différence artério-veineuse en oxygène. Le $\dot{V}O_2\text{max}$ est mesuré en laboratoire lors d'une épreuve d'effort maximale et s'exprime en valeur absolue (en litres de dioxygène par minute ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)) ou relative à la masse corporelle (rapportée au poids du sujet ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)), ou à la masse musculaire (rapportée à l'unité de masse maigre ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kgMM}^{-1}$)) afin de tenir compte de la variabilité de la constitution de chaque individu (enfant ou adulte, normo-pondéré, surpoids...) (Obert & Vinet, 2007). Au cours de la croissance, le $\dot{V}O_2\text{max}$ augmente physiologiquement chez la fille et le garçon lorsqu'il est exprimé en $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. Rapporté au poids corporel, il diminue chez la fille après la puberté et reste stable chez le garçon, sauf dans le cas d'activités physiques élevées, où il augmente dans les deux sexes (**Figure 6**). Le taux de masse grasse supérieure chez la fille explique en partie cette différence. Le $\dot{V}O_2\text{max}$ exprimé en $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kgMM}^{-1}$ tend à normaliser ses variations et reste la meilleure unité pour établir des différences inter et intra-individuelles. Toutefois, une différence entre les sexes persiste, notamment en raison d'une plus grande capacité de transport de l'oxygène chez le jeune adulte (concentration en hémoglobine comprise entre 13,5 et 17,5 $\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ chez l'homme et 12,5 et 15,5 $\text{g}\cdot\text{dl}^{-1}$ chez la femme). Cependant, le $\dot{V}O_2\text{max}$ exprimé en fonction de la masse musculaire nécessite une évaluation de la composition corporelle par absorptiométrie biphotonique à rayons X qui reste une méthode coûteuse et éloignée des pratiques cliniques courantes.

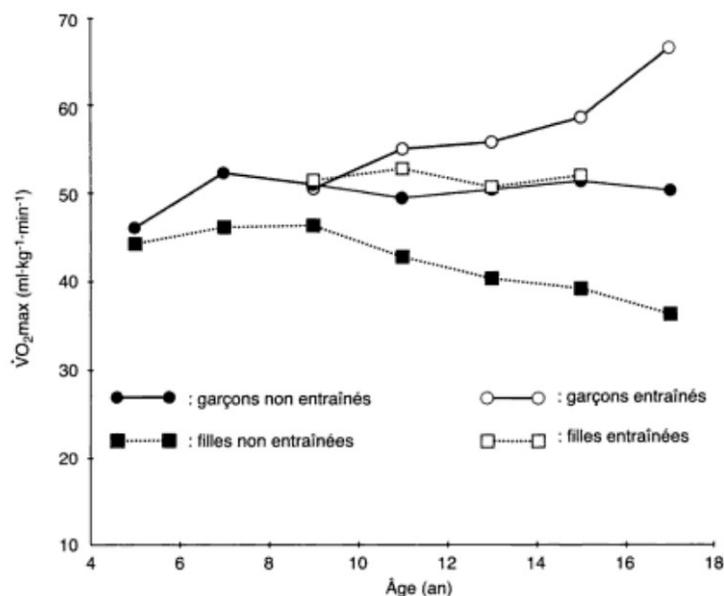


Figure 6 : Volume maximal d'oxygène consommé par unité de temps chez l'enfant (filles, garçons) selon l'âge et le niveau d'entraînement. Adaptée de Falgairette (1989).

1.4. Coût énergétique

Le coût énergétique ou rendement mécanique est défini comme le rapport entre le travail mécanique externe et l'énergie chimique utilisée au cours de la contraction musculaire. Il représente par exemple la quantité d'oxygène supplémentaire nécessaire pour parcourir une distance donnée. Ce rendement s'améliore avec le développement de l'enfant par la diminution des mouvements parasites, la meilleure utilisation de la composante élastique du muscle, la diminution du coût ventilatoire, à l'origine d'une baisse du coût énergétique lors d'une activité physique (Berthoin *et al.*, 2007). Il est bien admis que chez le jeune obèse, la masse corporelle supérieure altère cette composante. En effet, un moins bon rendement mécanique induit chez le sujet obèse, par rapport au sujet normo-pondéré, une dépense énergétique supérieure pour une même charge de travail (Tableau 4).

Tableau 4 : Coût métabolique net ($J.m^{-1}$) et normalisé ($J.kg^{-1}.m^{-1}$) chez des adolescents de poids normal et obèses en fonction de la vitesse de marche. Adapté de Peyrot *et al.* (2009).

	Coût métabolique net $J.m^{-1}$		Coût métabolique normalisé $J.kg^{-1}.m^{-1}$	
	Poids normal	Obèses	Poids normal	Obèses
0,75 $m.s^{-1}$	82,1 ± 25,2	257,1 ± 84,4**	1,98 ± 0,53	2,74 ± 0,53**
1 $m.s^{-1}$	87,9 ± 27,7	253,4 ± 89,5**	2,12 ± 0,57	2,69 ± 0,40**
1,25 $m.s^{-1}$	96,1 ± 36,4	262,8 ± 99,0**	2,30 ± 0,74	2,77 ± 0,48*
1,5 $m.s^{-1}$	111,7 ± 28,2	288,7 ± 79,4**	2,69 ± 0,53	3,10 ± 0,39*

Données présentées sous forme de moyenne ± SD, Test Student : p * < 0.05 p ** < 0.01

1.5. Endurance cardiorespiratoire

La capacité aérobie représente la capacité à maintenir une intensité relative d'exercice élevée (fraction du VO_2max) pendant une longue durée. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que la capacité de transport de l'oxygène (VO_2max), le rendement mécanique, la capacité de thermorégulation, les qualités anaérobies ou les réserves de substrats énergétiques dont dispose le sujet. Elle peut être mesurée objectivement par la réalisation de tests de terrain tels que des épreuves à charge ou vitesse progressivement croissante (Berthoin *et al.*, 2007).

1.6. Activité physique

L'activité physique se définit comme tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense d'énergie au-dessus de la dépense de repos. Elle se caractérise par sa nature, sa durée, sa fréquence, son intensité et son contexte (Inserm, 2008).

- **Sa nature** : il s'agit du type d'activité physique qui est relatif à la prépondérance de l'utilisation de l'un des 3 systèmes de production d'énergie : voies anaérobies alactiques (réserve en ATP et resynthèse par l'hydrolyse de la phosphocréatine), anaérobies lactiques (glycolyse et glycogénolyse, sans oxygène et avec production de lactates) et aérobies (phosphorylation oxydative des nutriments). Le métabolisme énergétique subit des modifications au cours du développement de l'enfant. Il semble que les processus métaboliques tendent à privilégier le développement des voies glycolytiques au détriment des voies aérobies avec l'âge (Boisseau, 2007). Néanmoins, bien que ces systèmes de production d'énergie fonctionnent simultanément, ce sont principalement les voies aérobies permettant de puiser dans les stocks de tissus adipeux, qui doivent être sollicitées en cas d'obésité.

- **Sa durée** : elle correspond au temps pendant lequel une activité ou un exercice est pratiqué. La durée est généralement exprimée en minutes par jour ou par semaine.

- **Sa fréquence** : elle correspond au fractionnement d'une activité physique par jour et à la régularité, c'est-à-dire le nombre de séances ou périodes d'activité par semaine.

- **Son intensité** : elle fait référence au rythme auquel un exercice est accompli ou l'importance de l'effort nécessaire pour accomplir cet exercice. Elle peut être exprimée sous deux formes : absolue ou relative.

En valeur absolue, le Metabolic Equivalent of Task (MET) est le niveau de dépense énergétique au repos : 1 MET correspond à $3,5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ou $1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ou encore $4,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Une intensité de 1,5 à 3 MET est considérée comme légère, de 3 à 6 MET comme modérée, de 6 à 9 MET comme élevée ou vigoureuse, supérieure à 9 MET comme très élevée (Puyau *et al.*, 2002). Ainsworth *et al.* (2000) ont proposé un système de codage qui classe chaque activité physique en fonction du multiple du métabolisme de base. Toutefois, dans le cadre de l'obésité, l'utilisation du MET est à considérer avec prudence compte tenu du coût énergétique plus élevé lors des activités physiques (tableau 4, p35). Par ailleurs, la notion de « crossover concept » décrite par Brooks & Mercier (1994), représente la balance d'utilisation des substrats énergétiques (part respective des lipides et glucides) en fonction de l'intensité d'exercice.

En valeur relative, l'intensité de l'exercice peut s'exprimer en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FC max) ou en pourcentage de VO_2max . Elle peut aussi être mesurée de manière plus subjective, en utilisant des échelles de perception de l'effort (Borg, 1982, 1998).

→ **Son contexte** de pratique, qu'il soit familial, scolaire ou communautaire, englobe chez l'enfant les déplacements actifs, les tâches quotidiennes (scolarité, ménage), les activités de loisir structurées (encadrées et organisées : éducation physique, activité périscolaire, association sportive avec ou sans compétition) ou non structurées (jeux et loisir en famille, avec des ami(e)s ou en autonomie).

2. DEVELOPPEMENT DE LA CONDITION PHYSIQUE DU JEUNE OBESE

2.1. Enfance

Chez l'enfant en surpoids, un retard du développement des habilités motrices (Graf *et al.*, 2004) est à l'origine d'une baisse de la condition physique. Même si la motricité globale n'est pas significativement différente entre des enfants en surpoids et normo-pondérés d'âge préscolaire (Bonvin *et al.*, 2012), Williams *et al.* (2008) ont mis en évidence que les habilités motrices sont moins développées chez les jeunes enfants qui présentent un faible niveau d'activité physique. Dès l'âge de 5 ans, Niederer *et al.* (2012) observent des divergences entre les groupes de statut pondéral différent. Le groupe normo-pondéré obtient de meilleurs résultats sur des tests d'endurance aérobie, d'agilité et d'équilibre dynamique, alors que le groupe surpoids est en réussite sur le test d'équilibre statique. À l'âge de 7 ans, Cliff *et al.* (2012) démontrent que les enfants obèses présentent des carences dans 12 habilités motrices fondamentales : locomotion comme courir, cloche pied, foulée bondissante, sautiller, pas chassé, saut en longueur sans élan ou maîtriser un objet comme lancer une balle, attraper un ballon, dribbler, shooter, faire rouler, frapper une balle avec une batte.

Tokmakidis *et al.* (2006) ont évalué certaines qualités de la condition physique chez 709 enfants grecs scolarisés en école primaire et ont montré des différences entre les sexes et le statut pondéral. En outre, les garçons en surpoids ont de meilleures performances que les garçons obèses en termes de force explosive, endurance musculaire et cardiorespiratoire, et les filles en surpoids obtiennent de meilleures performances que les filles obèses en termes d'agilité et d'endurance musculaire. En comparant la coordination motrice globale chez les mêmes sujets (âgés de 6 à 10 ans) à 2 ans d'intervalle, D'Hondt *et al.* (2013) mettent, quant à eux, en évidence une différence plus marquée avec le temps entre les performances motrices des jeunes normo-pondérés et des jeunes en surpoids. Ils évoquent la notion de développement moteur non-optimal chez ces derniers, particulièrement pour ceux qui n'ont pas de pratique physique encadrée extrascolaire. Par ailleurs, c'est à partir de l'âge de 9 - 10 ans que l'on retrouve chez les enfants obèses une différence

significative entre les compétences physiques perçues et réelles (Jones *et al.*, 2010; Sung *et al.*, 2005). L'image que garde le jeune obèse de ses propres performances semble être sous-estimée dès la pré-adolescence.

2.2. Adolescence

Deforche *et al.* (2003) ont évalué la condition physique chez 3214 adolescents belges, et ont démontré qu'il n'y avait pas de différence significative sur les tests de souplesse et d'agilité chez les jeunes obèses comparativement à leurs homologues normo-pondérés. D'ailleurs, leur force musculaire est supérieure notamment en raison d'une masse maigre plus développée. En revanche, dès que leur poids corporel est engagé dans un test physique, les jeunes obèses montrent de moins bonnes performances : l'endurance cardiorespiratoire, l'endurance musculaire, l'équilibre, la vitesse, ou encore la coordination. Fogelholm *et al.* (2008) confirment ces résultats chez 2348 adolescents finlandais et indiquent que pour un même niveau d'activité physique, les jeunes obèses ont toujours une condition physique plus faible, notamment en raison de leur faible endurance cardiorespiratoire ; les autres qualités physiques pouvant être compensées par un haut niveau de pratique. De manière similaire, Aires *et al.* (2010) ont étudié les interactions entre niveau de condition physique, niveau d'activité physique et niveau de corpulence durant 3 ans chez des adolescents, et en ont conclu que les variations d'IMC étaient négativement associées aux changements de condition physique. Par conséquent, les adolescents qui avaient un bon niveau de condition physique au départ ont maintenu un haut niveau d'activité et inversement. Enfin, Rodrigues *et al.* (2013) ont récemment étudié l'influence de la condition physique sur le développement du tissu adipeux chez des jeunes suivis sur une période de 9 ans, et ont montré qu'une condition physique médiocre dans l'enfance est associée au développement de l'obésité entre l'âge de 6 à 15 ans.

2.3. Relation : endurance cardiorespiratoire et composition corporelle

Les performances cardiorespiratoires sous-maximales ou maximales des enfants obèses sont significativement plus faibles que celles des enfants normo-pondérés. Pour une puissance d'exercice identique, les sollicitations cardiovasculaires et respiratoires sont plus importantes avec des fréquences cardiaques et des débits ventilatoires plus élevés chez le jeune obèse (Ferns *et al.*, 2011). Le seuil d'essoufflement apparaît plus précocement (Mendelson *et al.*, 2012) et la restriction pulmonaire de repos à l'origine d'un pattern ventilatoire de nature restrictive lors de l'exercice (Michallet *et al.*, 2007) est observé en raison de l'excès de masse grasse au niveau du thorax et de la ceinture abdominale. Sur le plan énergétique, l'utilisation des glucides est prédominante lors d'exercices physiques modérés à intenses limitant l'utilisation des lipides (Perez-Martin *et al.*, 2001). Chez le jeune obèse, la difficulté à réaliser un exercice physique aérobique serait principalement due à une demande métabolique très élevée pour porter sa surcharge pondérale plutôt qu'à une véritable diminution de son aptitude cardiorespiratoire. Goran *et al.* (2000) observent, chez l'obèse, un VO_{2pic} supérieur en valeur absolue et inférieur en valeur relative à la masse corporelle comparé à celui d'enfant normo-pondéré. En revanche, il est similaire lorsqu'il est rapporté à la masse maigre. Ces résultats indiquent que la capacité de transport et de consommation d'oxygène par unité de masse musculaire ne semblent pas perturbées chez l'obèse. Néanmoins, Mendelson *et al.* (2012) montrent, quant à eux, que la puissance développée par de jeunes obèses est moindre lors d'un exercice maximale sur bicyclette ergométrique, témoin d'une plus faible efficacité mécanique (charge de travail divisée par la consommation d'oxygène). Le coût énergétique plus élevé pour une activité physique donnée explique en partie les différences entre sujet obèse et normo-pondéré (Norman *et al.*, 2005; Peyrot *et al.*, 2009).

L'aptitude cardiorespiratoire est directement influencée par la composition corporelle (Nassis *et al.*, 2005). En effet, Dao *et al.* (2004b), montrent qu'au cours d'une prise en charge, le VO_{2max} d'un adolescent obèse s'améliore nettement lorsqu'il est rapporté au poids corporel. Cependant, ces auteurs précisent que le VO_{2max} en valeur absolue reste stable et que l'amélioration superficielle du

VO₂max en valeur relative provient essentiellement d'une perte de masse grasse. Le VO₂max est corrélé directement à la masse musculaire qui reste stable chez les filles ou augmente très légèrement chez les garçons en raison du développement pubertaire.

Dès la petite enfance, un faible niveau d'activité physique, associé à un développement moteur non optimal, aggravé par l'accumulation de tissus adipeux, induit progressivement une forme de déconditionnement à l'exercice chez le jeune obèse. L'enfant se trouve alors dans une situation d'échec vis-à-vis des activités physiques et sportives, à l'origine d'un phénomène de rejet de la pratique et une augmentation de l'inactivité entretenant la prise de poids (**Figure 7**). Chez l'adolescent, il semble exister une relation inverse entre la condition physique et le niveau d'IMC dans laquelle l'endurance cardiorespiratoire a une part prépondérante (Rauner *et al.*, 2013). Pourtant, c'est la qualité physique la plus clairement liée au bien-être physique et à la qualité de vie future. Elle détermine en grande partie la résistance au ralentissement de l'activité physique à l'âge adulte (OMS, 2010). Il est donc indispensable d'en évaluer le développement et le retentissement chez l'obèse pendant l'enfance et l'adolescence (Leduc, 2012).

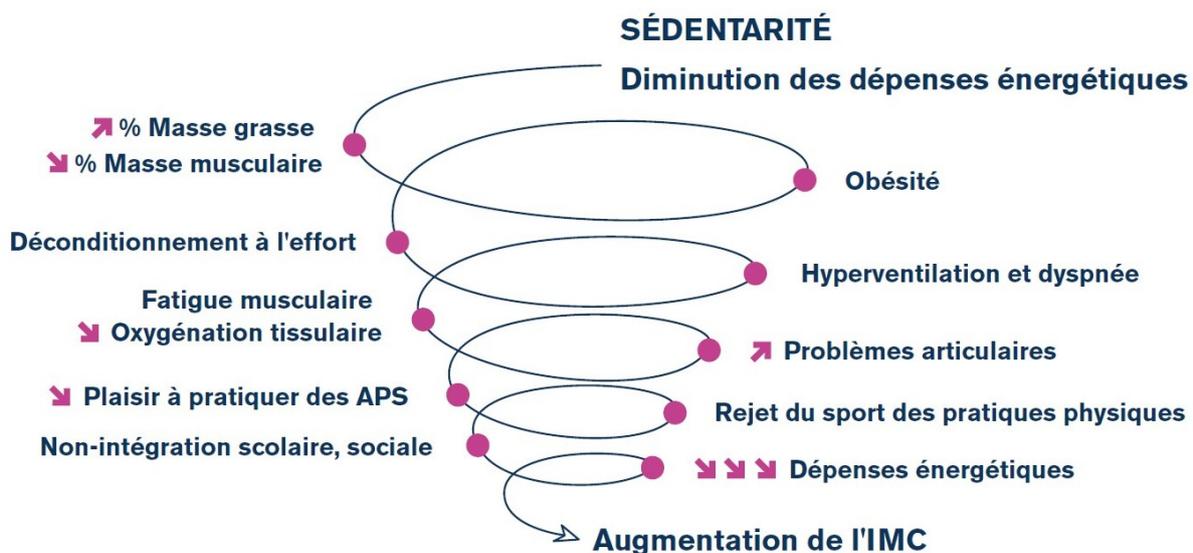


Figure 7 : Spirale du déconditionnement chez l'enfant ou l'adolescent obèse (APOP, 2008).

CHAPITRE III : ACTIVITE PHYSIQUE INTEGREE A LA PRISE EN CHARGE DE L'OBESITE : UN ENJEU DE SANTE PUBLIQUE

1. L'APPROCHE EN ACTIVITE PHYSIQUE

La prise en charge de l'obésité par l'activité physique adaptée fait aujourd'hui partie intégrante de l'arsenal thérapeutique (APOP, 2008; Mendelson *et al.*, 2013), au même titre que l'éducation nutritionnelle et l'accompagnement psychologique. Chez l'enfant, un entraînement d'intensité modérée à élevée améliore les capacités cardiorespiratoires et musculaires, la densité minérale osseuse et les bio-marqueurs de la santé cardiovasculaire (tension artérielle) et métabolique (sensibilité à l'insuline, intolérance au glucose, profil lipidique). Par ailleurs, la reprise d'une activité physique induit, sur le plan psychologique, une meilleure estime de soi, une réduction des symptômes de dépression et d'anxiété sociale (Landry & Driscoll, 2012). Chez le jeune obèse, l'activité physique représente donc un facteur bénéfique pour sa santé, notamment par la diminution des comorbidités liées à l'obésité (Farpour-Lambert *et al.*, 2009; Blohm *et al.*, 2012) et cela indépendamment de la modification du poids.

Les recommandations chez le jeune obèse préconisent une diminution des comportements sédentaires, une reprise d'activité ainsi que son maintien au long cours (Baker *et al.*, 2010). Même si la relation dose-réponse ne fait pas encore consensus chez l'enfant obèse, la prise en charge peut avoir pour objectif 2 à 3 séances d'activités physiques et sportives adaptées par semaine (160 à 180 min hebdomadaire) (Atlantis *et al.*, 2006) pour, progressivement, arriver à cumuler plus de 60 minutes (60 à 90 min) d'activités physiques par jour d'intensité modérée à vigoureuse (Jimenez-Pavon *et al.*, 2013; Saris *et al.*, 2003).

Les conseils, en termes d'activité physique pour le jeune obèse, doivent cependant être individualisés et adaptés au statut pondéral, au niveau d'aptitude, à la motivation du jeune et aux ressources familiales. **L'ensemble de ces conseils sont présentés dans la publication n°1.**

« Dans tous les cas, la difficulté est d'inciter des inactifs et sédentaires à reprendre goût au mouvement et à devenir au moins modérément actifs, de façon régulière et à long terme dans leur vie quotidienne. Il s'agit d'intégrer l'activité physique dans le registre du bien-être autant que dans celui de l'amélioration de l'état de santé, grâce au côté ludique de l'activité physique, en particulier chez l'enfant » (Inserm, 2008).

En effet, proposer aux jeunes en surpoids de faire plus d'activités physiques semble pertinent, pourtant cela n'est pas sans obstacle. Les freins à une pratique physique régulière ne sont pas seulement liés à des limites physiologiques ou physiques. Les jeunes obèses dépressifs présentent une plus faible aptitude aérobie (Shomaker *et al.*, 2012). Ils ont une perception moins favorable d'eux-mêmes, leur image corporelle les rebute et ils sont plus souvent l'objet de moqueries des autres enfants. L'activité physique est alors souvent synonyme de souffrance physique et morale. Pourtant, Guinhouya *et al.* (2010) suggèrent que l'auto-efficacité et la compétence physique sont des facteurs de motivation essentiels et des points d'ancrage solides pour l'initiation et l'engagement de l'enfant dans une pratique physique durable. Il est donc crucial de prendre en compte la dimension psychosociale sous-jacente à l'obésité dans les stratégies d'intervention. La reprise d'activité doit être associée à des notions de jeu, de plaisir, de rencontre avec autrui et de bien-être. **La publication n°2 apporte un éclairage sur les blocages de ces jeunes face à la pratique d'une activité sportive et les remédiations possibles.** Porter une attention particulière au ressenti du jeune lors de la pratique, permettre la distanciation de leurs difficultés présentes ou passées, contribuent à ce que l'activité physique devienne une source d'épanouissement personnel.

- PUBLICATION N°1 -

LE SPORT POUR LES ENFANTS EN SURPOIDS : COMMENT CONSEILLER EFFICACEMENT ?

SPORTS COUNSELING FOR OVERWEIGHT CHILDREN

Sylvain Quinart, Fabienne Mougin, Marie-Laure Simon-Rigaud, Anne Marie Bertrand,
Véronique Nègre

Publié dans “ Archives de Pédiatrie” 2010;17(6):894-895.

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale aux :

Congrès des sociétés de pédiatrie – Paris – 16 au 19 juin 2010

QUINART S.

L'obésité infantile : données actuelles

Le sport pour les enfants en surpoids Comment les conseiller efficacement ?

Le sport pour les enfants en surpoids : comment conseiller efficacement ?

Sports counseling for overweight children

S. Quinart^{1,2,*}, F. Mougín-Guillaume², M.-L. Simon-Rigaud³, A.-M. Bertrand¹, V. Nègre¹

¹ Réseau pour la Prévention et la Prise en charge de l'Obésité Pédiatrique en Franche-Comté, Pédiatrie, CHU Besançon, France

² Laboratoire de physiopathologie cardiovasculaire et prévention (EA 3920), UFR STAPS, Université de Franche-Comté CHU Besançon, France

³ Unité d'EFR et de l'exercice, CHU Besançon, France

Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Mots clés : Obésité

La diminution progressive de l'activité physique dans les sociétés industrialisées joue un rôle prépondérant dans l'augmentation actuelle de la prévalence de l'obésité [1]. Chez les enfants et les adolescents en surpoids, le manque chronique d'activité physique altère progressivement leur condition physique : limitation cardio-respiratoire à l'effort, développement psychomoteur perturbé, augmentation des troubles ostéo-articulaires... sans oublier le considérable retentissement social et psychologique de l'obésité [2]. Les enfants en surpoids sont en effet plus vulnérables face aux moqueries de leurs camarades ; ils vont développer des attitudes d'évitement, voire de rejet des pratiques sportives. Ces jeunes se trouvent donc limités dans leur pratique physique quotidienne et leurs activités de loisir. L'ensemble de ces phénomènes induit une augmentation de la sédentarité, entretenant ainsi une aggravation du poids.

« La meilleure stratégie de prise en charge repose à la fois sur la réduction des comportements sédentaires et sur l'intensification de l'activité physique associée à l'amélioration de l'alimentation » [3]. Les activités physiques et sportives (APS) doivent aujourd'hui faire partie intégrante de la prise en charge du surpoids. Elles représentent un facteur bénéfique sur la santé, tant sur le plan physiologique que psychosociologique [4,5]. Pour le professionnel de santé, il s'agit donc de permettre la modification des comportements sédentaires et d'initier une augmentation des APS ; la difficulté principale étant de maintenir ces habitudes à long terme. Comme détaillé dans la synthèse récente du Programme National Nutrition Santé (PNNS) [2], il est nécessaire, dans un premier temps, de réaliser avec l'enfant et sa famille un bilan médical détaillé et une évaluation de la pratique d'APS. L'accent doit être mis sur les signes de désadaptation à l'effort qui sont majoritairement liés à un manque de capacité aérobie, limitant ainsi l'enfant dans ses exercices physiques : « difficulté à maintenir une marche soutenue plus d'une dizaine de minutes », « essoufflement lors d'une montée de marches d'escalier », « apparition d'un point de côté dès les premières minutes de course », « suspicion d'asthme à l'effort »... Dans ce cas, on pourra s'aider d'explorations complémentaires telles que les tests à l'effort en laboratoire. Les autres éléments indispensables à explorer sont les représentations

personnelles et familiales liées aux APS et à la sédentarité : « expériences antérieures négatives dans un club de sport », « difficulté à s'intégrer dans un groupe », « peu d'activités physiques dans les habitudes familiales », « environnement offrant beaucoup de loisirs sédentaires »...

Dans un second temps, la proposition d'APS sera graduée, afin de permettre à l'enfant de reprendre une APS régulière tout en évitant les blessures et le découragement. Les recommandations préconisent dans un premier temps un objectif de 2 à 3 séances d'APS par semaine (160 à 180 min hebdomadaire), pour arriver progressivement à 60 min tous les jours, sous forme de sports, de jeux ou d'activité de la vie quotidienne [3]. Ces APS doivent être réalisées en intensité modérée à élevée. Néanmoins, elles doivent toujours être réalisées en pleine aisance respiratoire, car à ces intensités, elles développent la capacité aérobie et favorisent la lipolyse. Pour affiner le conseil, le professionnel tiendra compte des aptitudes individuelles, de la motivation de l'enfant et des possibilités familiales. Il aidera l'enfant et sa famille à définir des objectifs raisonnables en APS et à prendre des engagements pour diminuer sa sédentarité (tableau 1).

Cet accompagnement se base sur les principes de l'éducation thérapeutique. Il s'agit de faire émerger avec la famille les ressources et les possibilités afin que l'environnement devienne favorable à une pratique plus régulière. C'est à l'enfant et sa famille que revient le choix de changer son mode de vie, il n'appartient pas aux professionnels de santé de leur imposer. Le rôle de ces derniers est d'être attentif aux difficultés, de prendre en compte les blocages, sans banaliser la souffrance ressentie par le jeune. Le cheminement de la famille peut parfois prendre du temps, il faudra alors savoir soutenir la motivation.

La prise en charge devra permettre une amélioration de la condition physique et une meilleure intégration sociale. Les APS seront alors ressenties comme plus agréables. C'est en éprouvant du plaisir que l'enfant s'épanouira dans une pratique physique, contribuant ainsi à stabiliser sa corpulence, améliorer sa santé physique, mentale et sociale.

* Auteur correspondant.
e-mail : repop-sport@chu-besancon.fr

Tableau I

Extrait de « synthèse du PNNS : activité physique et obésité de l'enfant : bases pour une prescription adaptée » [2]

Lutte contre la sédentarité et augmentation de l'AP quotidienne	<ul style="list-style-type: none"> – Lutte contre la sédentarité : diminution du temps d'écran... – Augmentation de l'AP dans la vie quotidienne : déplacements actifs, jeux... – Augmentation de l'AP de loisir : balades en famille, pratique libre...
Augmentation des APS structurées et encadrées	<ul style="list-style-type: none"> – Participation à l'EPS scolaire – Durant le temps périscolaire et les vacances – Inscription puis participation à une APS dans le cadre d'un club sportif éventuellement avec un certificat d'(in)aptitude physique partielle
Recours spécifiques pour les jeunes obèses déconditionnés	<ul style="list-style-type: none"> – Ateliers d'Activité Physique Adaptée (par exemple dans le cadre des RéPPOP) – Kinésithérapie, psychomotricité – Centres d'accueils spécialisés : MECSS, maisons d'enfants, maisons thermales

*AP : activité physique. APS : activité physique et sportive. EPS : éducation physique et sportive
RéPPOP : Réseaux de prévention et de prise en charge de l'obésité pédiatrique. MECSS : Maisons d'enfants à caractère sanitaire spécialisé.*

Références

1. Nassif H, El Helou N, Toussaint JF. Activités physiques ou sportives : quels bénéfices ? Quels risques ? Actualité Dossier Santé Publique 2009;67:18-9.
2. Synthèse du PNNS : Activité physique et obésité de l'enfant : bases pour une prescription adaptée. INPES 2008, 2:2 p15-16, 4:1-2. p. 29-50. www.santé.gouv.fr - thème « nutrition ».
3. Activité physique. Contexte et effets sur la santé. Collection Expertise collective. Éditions INSERM mars 2008, pp 447-84.
4. Strong WB, Malina RM, Blimkie CJ, al. Evidence based physical activity for school-age youth. J Pediatr 2005;146:732-7.
5. Janssen I. Ligne directrice sur l'activité physique à l'intention des enfants et des jeunes. Appl Physiol Nutr Metab 2007;32:5122-35.

- PUBLICATION N°2 -

L'ACTIVITE SPORTIVE CHEZ UN JEUNE EN SURPOIDS : UNE PRESCRIPTION ?

PHYSICAL ACTIVITY IN OVERWEIGHT CHILDREN: A PRESCRIPTION?

Sylvain Quinart et Patricia Manga Carrola

Publié dans " Journal de Pédiatrie et de Puériculture " 2011;24(5):266-271

DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpp.2011.04.002>

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale aux :

Cercle Pédiatrique de Bourgogne – Dijon – 17 septembre 2011

QUINART S.

Nouveautés dans la prise en charge de l'enfant trop gros : l'Épigénétique - le Sport - le Soins.



Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
 EM|consulte
www.em-consulte.com



POINT DE VUE DU PSY

L'activité sportive chez un jeune en surpoids : une prescription ?

Physical activity in overweight children: A prescription?

S. Quinart^{a,b,*}, P. Manga Carrola^a

^a Réseau pour la prévention et la prise en charge de l'obésité pédiatrique en Franche-Comté, service de pédiatrie 1, CHU Saint-Jacques, 25030 Besançon cedex, France

^b Laboratoire de physiopathologie cardiovasculaire et prévention (EA 3920), UFR STAPS, université de Franche-Comté

Reçu le 14 mars 2011 ; accepté le 29 avril 2011

MOTS CLÉS

Obésité ;
Éducation
thérapeutique ;
Activité physique

Résumé Dans le cadre d'une prise en charge de l'obésité, proposer aux jeunes en surpoids de faire plus d'activité physique semble pertinent, pourtant cela n'est pas sans obstacle. Fragilisé par les moqueries, le sport est souvent synonyme de souffrance physique et morale. C'est pourquoi, il est nécessaire de porter une attention particulière à leurs ressentis. En fuyant l'activité, ils cherchent à se protéger du regard des autres qui est devenu pour eux le miroir accusateur de leur différence, générant ainsi beaucoup d'angoisse. En tant que psychologue et enseignant en activité physique adaptée nous travaillons en continuité, notamment lors de nos séances d'éducation thérapeutique. Ainsi les pratiques sportives proposées sont reprises dans le cadre du groupe de parole. L'expression de leurs difficultés présentes ou passées contribue alors à une certaine distanciation. La reprise d'activité physique doit être associée à des notions de jeu, de plaisir, de rencontre avec autrui et de bien-être. L'accompagnement est gradué en fonction du niveau de difficultés en vue d'une intégration progressive dans une association sportive. Un suivi psychologique s'avère souvent bénéfique. Par ailleurs, les parents culpabilisés ont le sentiment d'être montré du doigt. Les difficultés qu'ils ont à impliquer leur enfant dans une pratique physique régulière fait écho à leurs propres angoisses. Il est donc important de le prendre en compte afin de ne pas renforcer leur sentiment d'échec. En proposant un espace de parole et en respectant les défenses de chacun, l'activité physique devient alors un choix et une source d'épanouissement personnel.

© 2011 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : repop-sport@chu-besancon.fr (S. Quinart).

KEYWORDS

Obesity;
Patient education;
Physical activity

Summary As far as taking care of obese people is concerned, advising young overweight children to do more exercise seems to be relevant. And yet some problems emerge. People associate sport with mockery and it often rhymes with physical and moral suffering. That's why it's necessary to pay attention to children's feelings about it. When they try to avoid sport, they think they protect themselves from the other, who has ultimately become the prosecution, blaming them for their difference. That can create a lot of frustration. As psychologists and teachers in the adapted physical activity area, we work as a group, especially during our therapy session. Then, the physical activities that we propose are talked about in therapy. They can look at it from the outside as they are expressing their difficulties, from previous or present experiences. Sport must be associated with game, pleasure, self-satisfaction and most of all with the communication with the other. They're accompanied according to their need and we aim at integrating them progressively in a sports association. Besides, a psychological support often proves itself required and beneficial. Moreover, guilty parents feel like they are being judged. Their inability to encourage their child to do any sport echoes their own fear. So we must take their feelings into account so they don't feel even less capable and more guilty. Offering to verbalise their problems and respecting everyone's feelings make them consider they have a choice, and it enables them to realize that sport can be a source of personal achievement.

© 2011 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

« Bouger plus ! » est-ce si facile ?

Lorsque les professionnels de santé proposent à un jeune en situation d'obésité de commencer ou de reprendre une activité physique, ils sont souvent confrontés à de nombreux obstacles. Ils ont parfois l'impression que certains enfants s'isolent progressivement, jusqu'à refuser toutes activités sportives. Les jeux vidéo, l'ordinateur ou encore la télévision occupent, de ce fait, une place de plus en plus importante chez ces jeunes.

Comment expliquer ce manque d'implication dans les pratiques physiques ? Cette attitude ne masque-t-elle pas une situation beaucoup plus complexe alors qu'elle est souvent assimilée à de la paresse et à son cortège de représentations dévalorisantes.

Nos expériences en temps qu'enseignant en activité physique adaptée (APA) et psychologue clinicienne, au sein du réseau de prévention et de prise en charge de l'obésité pédiatrique en Franche-Comté (RéPPOP-FC), nous a permis un regard croisé sur cette problématique que nous vous invitons à partager. Nous nous sommes interrogés sur l'état d'esprit dans lequel se trouve l'enfant face aux activités sportives. Cela permet de mieux comprendre les raisons pour lesquels ce jeune s'isole, afin d'élaborer par la suite des pistes de travail qui permettront de l'aider.

Le ressenti des enfants en surpoids dans les activités physiques ou sportives

Comme pour tout enfant, nous constatons chez l'enfant en situation d'obésité, un engouement et un intérêt pour les activités physiques sportives et artistiques. Durant les journées d'éducation thérapeutique de groupe organisé par l'équipe du RéPPOP-FC², nous remarquons une participation active des enfants, d'autant plus lorsque l'activité est proposée sous forme de jeu. Être en interaction avec les autres

leur procure du plaisir dans la mesure où ils défient leurs partenaires, les règles, les limites... à l'image d'une petite société.

Chez l'enfant en surpoids, cet engouement peut progressivement disparaître lorsqu'il est confronté à des moqueries. Cela peut générer les différentes réactions détaillées ci-dessous.

Gêne et malaise

Le jugement négatif d'autrui peut induire un malaise lié au sentiment d'incompétence qui est attribué à l'enfant.

« De toute façon tu es nul, tu n'arrives jamais à marquer »

Stress et anxiété

L'enfant, face à cette image négative qui lui est renvoyée, va être amené à douter de ses propres capacités. Cela génère une anxiété provoquant une remise en question qui l'empêche alors de participer spontanément.

Énervement et agressivité

Par ces remarques répétées, l'enfant se sent agressé. Il est blessé dans son intégrité et dans sa dignité. Cela peut conduire à des réactions de colère qui peuvent aller jusqu'à la violence physique. L'enfant poussé à bout ne voit pas d'autre choix que de répondre par des insultes et de l'agressivité.

« La prochaine fois, je vais en tuer un ! s'ils n'arrêtent pas de me faire... sur le terrain de basket ».

Sentiment d'échec

L'enfant en difficulté aura tendance à se comparer à ses camarades, voire à des personnes ayant plus d'expérience que lui (un champion).

« Les autres y arrivent du premier coup ».

De plus les comparaisons souvent faite par l'adulte viennent se surajouter au sentiment d'échec que l'enfant ressent à ce moment-là.

« On me dit toujours que ma sœur est meilleure que moi ».

Perte de confiance

Du fait des remarques blessantes de ses pairs et des adultes, l'enfant perd progressivement confiance en lui. En effet, n'étant pas en mesure de prendre de la distance, il voit son image de soi mise à rude épreuve. Il se sent alors dévalorisé et sous-estime ses compétences.

« Je n'arriverai jamais à monter sur ce mur d'escalade »

Évitement

À terme, nous observons des comportements d'évitement qui peuvent aller jusqu'au rejet de l'activité. Le jeune peut de manière plus ou moins consciente, mettre en place des attitudes pour ne pas être à défaut face à l'activité. Cela peut commencer par une position de retrait,

Ex. Un enfant qui se débrouille pour ne jamais avoir à toucher la balle dans un exercice de contre-attaque.

« Aller les gars ! je reste en défense ».

En passant par un contournement de l'activité,

Ex. L'enfant trouve un prétexte à un moment clef du match pour ne pas endosser la responsabilité d'un éventuel échec de l'équipe.

« J'arrête de jouer parce que j'ai mal à la cheville ».

Et enfin engendrer un refus de l'activité,

Ex. L'enfant cherche à éviter sa séance de natation.

« Je ne peux pas aller à la piscine, j'ai oublié mon maillot de bain ».

Isolement et exclusion

De par ces attitudes, l'enfant se referme sur lui-même en s'isolant du groupe. Ce même groupe pourra alors l'exclure quand il voudra revenir.

« Personne ne me passe la balle, ils ne m'aiment pas, je ne vois pas pourquoi j'y retournerais ».

Il s'agit bien entendu, là, d'une liste non exhaustive des situations rencontrées chez tous les enfants en difficulté

face à l'activité sportive. Nous notons cependant, que ces réactions paraissent exacerbées pour les enfants en surpoids, même si chaque jeune aura sa manière spécifique de réagir.

Comment se protège-t-il ?

À travers ces différentes expériences négatives, l'enfant est fragilisé psychiquement. Il n'arrive plus à éprouver du plaisir et à s'investir dans les jeux sportifs, ce qui entrave sa pratique physique. Il faut noter que tous ces freins autour de l'activité physique, prennent de l'ampleur avec l'accumulation d'expériences négatives, la puberté, l'adolescence..., et ne sont pas seulement liés au niveau d'obésité.

En analysant le cheminement parcouru par l'enfant en surpoids, nous nous apercevons qu'en réalité ces blocages sont plus à entendre comme une manière de se protéger, et non pas à interpréter comme un manque d'implication. Si l'enfant se protège, c'est pour éviter de souffrir et de prendre le risque de revivre ces mêmes situations.

Le regard de l'autre est impliqué dans la pratique de l'activité physique. Il a un impact dans la construction de l'image et de l'estime de soi. Ce regard qui valorise un enfant performant, a l'effet inverse chez l'enfant en difficulté. C'est pourquoi on retrouve très fréquemment une image de soi malmenée chez l'enfant en surpoids.

À l'adolescence, l'influence du regard de l'autre est exacerbée. L'adolescent en perte de repères, recherche des modèles identificatoires chez les autres jeunes. L'importance accordée alors au regard de l'autre devient omniprésente.

« Dans les vestiaires je mets en place des astuces pour enfiler ma tenue de sport le plus discrètement possible. »

Se confronter aux autres est vécu comme une épreuve redoutée, car l'adolescent accorde une importance démesurée à l'aspect compétitif. Il n'arrive plus à en faire abstraction. Cela est d'autant plus difficile à vivre chez cet adolescent car, pour toute activité physique, son excès de poids lui est sans cesse rappelé.

Un jeune qui reste prisonnier du regard de l'autre est amené à développer des peurs et des angoisses. Le moment des vestiaires est particulièrement redouté pour ces jeunes car ils exposent leur corps à la vue des autres sans intimité possible. Habituellement, ils tentent en permanence de masquer leurs rondeurs, et ainsi éviter d'attirer l'attention. Beaucoup éprouvent un sentiment de honte face à leur corps, ils ont l'impression de ne pas être comme les autres.

« À la piscine tout le monde me regarde. »

En comparaison avec les autres ados, ses performances ont tendance à diminuer à long terme. Il faut avoir conscience que le manque d'expérience motrice entraîne au fil du temps une non-progression de la condition physique. En effet sur le plan physique, physiologique et psychomoteur, le jeune a accumulé des retards : habilités motrices non développées, essoufflement précoce, profil tensionnel élevé, fatigue musculaire et douleur articulaire. Tout cela

conduit à un déconditionnement du jeune face à l'exercice physique. C'est pourquoi, pour une même charge de travail, un adolescent en surpoids devra fournir un effort plus conséquent qu'un autre.

Par conséquent, les jeunes peuvent avoir une vision déformée de leur poids, du fait d'une méconnaissance de perception de leur corps. On l'observe particulièrement dans les activités où ils doivent soulever leur corps, comme en escalade, accro-gym ou encore aux agrès en gymnastique. Par conséquent ils peuvent imaginer que le matériel va céder sous leur poids ou qu'ils vont blesser quelqu'un. Prenons l'exemple d'un jeune qui nous dit avoir peur de monter sur le mur d'escalade, non pas parce qu'il a le vertige mais :

- par manque de confiance en son camarade qui l'assure car ce dernier est d'un poids inférieur;
- par crainte que la corde ne casse et que tout le monde se moque de lui.

On peut penser que ces peurs sont dues à un manque de confiance en ses pairs et dans le matériel. En réalité, cela reflète des peurs beaucoup plus ancrées en lien avec l'estime de soi et le sentiment de honte. On note également que les jeunes peuvent se mettre « la pression » pour réussir, par peur de ne pas être à la hauteur. Ils doutent de leurs propres performances ou craignent de ne pas correspondre aux attentes des autres (parents, enseignants, copains etc.).

Ex. Un père qui pratiquait du rugby adolescent exige que son fils y joue. Le jeune quant à lui, en entretien individuel, nous fait part de son angoisse à l'idée de se retrouver au sein d'une équipe. Il a peur de ne pas être accepté, que l'on se moque de lui du fait de son niveau ou encore d'être malmené sur le terrain avec un risque de blessure.

L'accumulation de ces différentes peurs crée un climat d'anxiété qui submerge le jeune. Ces angoisses conduisent à un blocage complet quelle que soit l'activité physique proposée. À terme, cela peut se répercuter à d'autres domaines pouvant générer ainsi des phobies.

Les remédiations possibles

Les professionnels de santé doivent avoir conscience qu'il n'y pas de recette prédéfinie pour augmenter la pratique physique de leur patient. Donner des directives de manière trop précipitée, sans prendre en compte la dimension subjective du jeune, ne peut conduire qu'à l'échec. Un jeune en surpoids ne pratiquant pas d'activité physique sera plus souvent en difficulté. Pour lui, l'activité est devenue synonyme de souffrance physique et morale. Notre expérience nous montre qu'en proposant un cadre de pratique adaptée, il retrouve progressivement l'envie de faire du sport. Un suivi psychologique en parallèle s'avérera souvent aidant.

L'accompagnement du jeune est la clef de voûte de la prise en charge de l'obésité infantile. C'est à l'enfant et sa famille que reviennent le choix de changer leur mode de vie et non aux professionnels de santé de leur imposer. Il est important pour les accompagnateurs d'être attentifs aux difficultés, de prendre en compte les blocages et de ne pas banaliser la souffrance ressentie par le jeune. En effet, les choses sont souvent plus complexes qu'elles peuvent paraître.

Ex. Un professionnel de santé, dans sa consultation, essaye de convaincre un ado en surpoids de reprendre une activité sportive.

« Pour ton poids, tu devrais bouger plus. Et si tu t'inscrivais dans un club, pourquoi pas la natation ? »

Cette phrase qui s'apparente à un conseil de la part du professionnel, se révèle être pour l'ado une directive à laquelle il n'a pu prendre part. Pratiquer une activité physique pour le goût de l'effort ou pour sa santé n'apparaît que secondairement chez l'ado en surpoids. Par conséquent, présenter l'activité physique uniquement comme un moyen de contrôler son poids « ne lui parle pas ». De plus, cela peut mettre le jeune dans une situation de passivité ne permettant pas l'expression de son propre désir.

C'est en nous attachant à l'histoire de l'enfant dans ses activités sportives, que nous pouvons comprendre les raisons qui le mettent en difficulté. Il a alors la possibilité d'évoquer les moqueries subies au cours de ses anciennes expériences. Afin d'apporter une réponse ajustée face à ses réticences, le professionnel réfléchira avec l'enfant à une activité physique qui serait associée à des notions de plaisir, de rencontre et de bien-être.

Pour pratiquer une activité sportive, l'enfant peut avoir besoin de bénéficier d'une préparation physique.

Ex. Prenons l'exemple d'un adolescent ayant une obésité sévère qui se plaint d'être essoufflé dans ses activités physiques quotidiennes.

« Quand je cours, au bout de 3 minutes, je suis obligé de m'arrêter pour reprendre mon souffle. J'aimerais faire du hand-ball, mais je me vois mal tenir tout un match ».

Face à cette situation, le professionnel de santé peut être en difficulté pour lui proposer d'optimiser son activité physique. Notons tout d'abord que ce jeune est motivé et qu'il a pour projet de faire du Hand Ball. Ces signes d'essoufflements indiquent qu'il est déconditionné physiquement ce qui doit alerter le professionnel de santé. Dans ce cas, l'idée de s'inscrire dans un club n'est sans doute pas la solution appropriée dans un premier temps. En allant dans un club, ce jeune prend le risque de ne pas tenir compte de ses limites, d'être en difficulté sur le plan respiratoire ou encore de se blesser. Cela provoquerait alors l'arrêt de l'activité, sans compter que ses performances physiques pourraient être jugées par les autres. Il est nécessaire que le professionnel propose une réadaptation à l'effort pour ensuite lui permettre de retrouver le terrain de Hand Ball dans de bonnes conditions.

De plus, il est important d'avoir à l'esprit que les activités sportives mettent en jeu la frustration, dans la mesure où l'enfant n'est pas toujours en situation de réussite. Nous avons pu noter que pour certains enfants en surpoids, ce sentiment de frustration semble être exacerbé et ressenti comme un véritable échec.

Ex. Un enfant de sept ans que les parents ont inscrit au judo depuis trois mois, ne souhaite plus y retourner.

Expérience du RéPPOP-FC :

Le travail en réseau favorise une collaboration entre médecins du sport, kinésithérapeutes et enseignants en APA afin de ré-entraîner les jeunes à la pratique d'exercices physiques. Le remboursement des actes de kinésithérapie est possible : « réentraînement à l'effort dans le cadre d'une prise en charge d'obésité sévère ». D'autre part, les enseignants APA mettent en place des ateliers tremplins « Pass'Sport Forme ». Ces derniers visent à amener chaque jeune dans une démarche de « projet sportif » :

- en créant un espace de convivialité, de lien social, de plaisir et de satisfaction personnelle ;
- en adaptant les disciplines sportives aux capacités motrices et au potentiel physique des enfants en surpoids ;
- en proposant des tâches progressives, un accompagnement personnalisé et des encouragements réguliers.

Nous donnons ainsi la possibilité à des jeunes en surpoids de s'exprimer physiquement. Cela va leur permettre dans un premier temps d'améliorer leur condition physique et leur capital santé. Dans un second temps, cela facilitera la pratique d'activités de loisirs régulières pour ultérieurement intégrer un club de sport.

« Ce n'est pas normal, je n'ai pas eu ma ceinture jaune alors que mes copains l'ont eu... Moi je n'irai plus!.. de toute façon je suis nul ».

Cet enfant accorde beaucoup d'importance au fait d'avoir cette ceinture, comme si tout se jouait là et qu'il n'avait pas la possibilité de recommencer. Cela s'accompagne d'une dévalorisation qui touche non seulement à ses compétences sportives, mais également à son identité. L'enfant semble atteint narcissiquement. Face à cette situation, les parents se questionnent sur la poursuite éventuelle de l'activité. En n'allant pas à l'encontre de l'enfant, en ne remettant pas les choses à leur juste place, les parents donnent raison à l'enfant. Cela est à mettre en lien avec la complexité des rapports aux limites et à la frustration.

Écouter son enfant ne signifie pas répondre à toutes ses demandes, mais s'interroger si sa demande est justifiée et si elle est dans son intérêt à long terme. La répétition de ce type de situation dans le sport et dans d'autres domaines conduit l'enfant à penser que c'est lui qui décide en fonction de ses envies. Cela l'empêche de se confronter à la réalité, donnant ainsi à l'enfant un sentiment de « toute puissance » dont il aura des difficultés à se défaire.

On oublie souvent que la frustration est nécessaire à la construction psychique de l'enfant. Le professionnel de santé peut aider les parents à se questionner sur l'équilibre entre les besoins de leur enfant et sa frustration. Or ce n'est pas si simple pour un parent. On peut les soutenir avec l'idée qu'un enfant a besoin d'expérimenter le manque et les limites. Cela permet à

l'enfant de trouver en lui les ressources nécessaires pour y faire face. Pour cela, il est important d'éviter de se positionner en tant qu'expert et de porter de jugements de valeurs.

Expérience du RéPPOP-FC :

L'expérience du RéPPOP-FC dans l'organisation des journées d'éducation thérapeutique de groupe, met en lien, entre autre, des séances d'APA et des groupes de parole. Les activités proposées : natation, aquagym, escalade, randonnée, jeux collectif, sport de raquette... sont choisies du fait qu'elles sont souvent sources de difficultés et de blocages. Il leur est proposé de redécouvrir ces activités sous un angle différent. Au départ, l'aspect compétitif et la notation sont mis à l'écart, au profit du jeu et du plaisir à pratiquer. L'objectif est d'aider le jeune à mettre en parallèle ses capacités et ses difficultés pour progressivement les dépasser. Une séance d'activité aquatique sera l'occasion de prendre confiance en soi, en expérimentant un travail de perception musculaire et respiratoire dans l'eau. Dans un second temps le groupe de parole va permettre aux enfants de s'exprimer sur les difficultés ressenties lors de cette séance. Ce temps permet d'aborder le fait de s'exposer devant le groupe, le regard de l'autre, les peurs, l'adversité... Ces échanges ne sont possibles que dans la mesure où l'intimité est préservée. Cela est garanti par les règles mises en place dès le début dans le groupe de parole : la confidentialité et le respect de la parole de l'autre. Chaque jeune peut alors partager sa situation actuelle ou passée sans se sentir jugé. L'expérience de chaque enfant est reprise, approfondie, analysée, inscrite dans un contexte, favorisant alors un travail de réflexion et d'élaboration. Cela permet d'établir une continuité entre le vécu émotionnel et la possibilité de l'exprimer, contribuant ainsi à une mise à distance.

Les parents jouent un rôle essentiel dans l'environnement de leur enfant et de leur adolescent. Leurs attitudes vont influencer la pratique d'activité ou d'inactivité dans la famille. Cependant, il est nécessaire de ne pas oublier que lorsque les parents se présentent à nous, ils sont souvent mal à l'aise par rapport au poids de leur enfant. Ils ressentent un sentiment de culpabilité, d'autant plus si eux-mêmes sont en situation d'obésité.

Ex. Un professionnel de santé dit à une mère.

« Il faut faire bouger votre enfant, amenez-le au parc chaque week-end ou inscrivez-le dans un club de sport ».

À cela le parent répond :

« Mon mari travaille le week-end, moi la semaine je n'arrête pas, je profite du week end pour faire les tâches ménagères et pour me reposer », « En plus, les clubs de sport sont chers, souvent éloignés et je ne peux pas l'amener ».

Cette recommandation peut conduire à renforcer une mise en échec dans la mesure où les parents ne peuvent pas répondre à la demande du médecin. Cela nourrit ainsi leurs sentiments de culpabilité.

« Je suis une mauvaise mère parce que je n'arrive pas à prendre le temps de bouger avec mon enfant ».

Lorsque d'emblée une famille argumente de l'impossibilité de faire une activité physique en se référant aux conditions pratiques ou financières, c'est probablement que le professionnel de santé a proposé une activité comme l'on prescrirait un médicament.

En effet, on constate que même en proposant des solutions pratiques et financières ajustées, certaines familles ont beaucoup de difficultés à modifier leur mode de vie. Un travail de réflexion va être nécessaire avec les parents sur leur propre vécu. Autrement dit, il est important d'explorer leurs représentations, entre autre : questionner les familles sur l'image qu'ils ont de l'activité physique ; s'ils en ont déjà fait eux-mêmes ? ; Pourquoi n'en font-ils plus ou jamais fait ? Il est essentiel de ne pas se contenter de réponse comme « je n'aimais plus » ou « c'était trop difficile » mais de pouvoir approfondir.

Le refus d'une activité fait sans doute écho à leur histoire personnelle. Ce travail de fond demande du temps, d'autant plus si ces obstacles sont fortement impliqués dans l'affect et l'émotion. Notons que l'activité sportive amène notamment à sortir de chez soi et à aller à la rencontre des autres. Certaines familles vulnérables évoquent alors un sentiment de peur, de danger, ne se sentant pas en sécurité. Cela met en lumière des réticences beaucoup plus ancrées, en lien avec l'investissement psychique et les enjeux inconscients impliqués. Cela ne peut se résoudre en quelques consultations. Il est nécessaire de travailler avec les familles autour de l'ambivalence qu'elles ont face à l'activité. Le relais

après d'un psychologue s'avère souvent nécessaire pour aider les familles.

Conclusion

Chaque professionnel doit avoir à l'idée que la justification d'un enfant pour ne pas pratiquer une activité sportive est à prendre en considération et à respecter. Ne pas pratiquer d'activité est un refuge et prescrire une activité physique vient bouleverser tout un équilibre personnel et familial. On peut assimiler ce refus comme un message symptôme à décoder, à l'image de l'arbre qui cache la forêt. Aider l'enfant à prendre en charge son obésité ne peut se faire sans tenir compte des processus dans lesquels l'obésité est intriquée. C'est pourquoi, il est souvent important d'associer le réinvestissement dans l'activité physique du jeune à un travail psychologique. Le jeune pourra alors prendre du plaisir à être dans un groupe et pratiquer une activité sportive, contribuant ainsi à lui donner une meilleure image et estime de lui. Lorsque le professionnel de santé reste sur des éléments trop superficiels, la souffrance de l'enfant et de sa famille peut passer alors inaperçue et perdurer en s'accroissant avec les années. Écouter, donner à l'enfant et à sa famille la possibilité de cheminer en respectant leur propre rythme vont leur permettre d'évoluer. En se positionnant en tant qu'accompagnateur, on permet ainsi à la famille d'être en mesure de trouver elle-même ses solutions pratiques et financières pour s'épanouir et faire de l'activité : un choix.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

2. RECOMMANDATIONS EN ACTIVITES PHYSIQUES

La continuité des soins est un élément clef dans la réussite de cette prise en charge. Elle va de la réadaptation à l'effort en cabinet de kinésithérapie à l'intégration d'un mode de vie plus actif (déplacement actif, association sportive) en passant par des ateliers d'activités physiques adaptées (Frelut & Perez, 2007). Pour cela, Duclos *et al.* (2010) rappellent que la prescription d'activités physiques nécessite un bilan individuel approfondi qui comporte une évaluation clinique, un interrogatoire à la recherche d'antécédents et de facteurs de risque et un entretien explorant différentes dimensions autour des activités physiques et de la sédentarité. Il est, en effet, indispensable de cerner les limites physiques, physiologiques, sociales et psychologiques pour orienter en toute sécurité la reprise d'activités physiques du jeune obèse (Duche, 2008). Dans leur revue, Kyrolainen *et al.* (2010) rapportent qu'une évaluation fréquente et objective du niveau de condition physique générale, particulièrement des aptitudes aérobies, devrait être incluse dans le suivi des jeunes obèses pour optimiser la mise en place de comportements-santé. **La publication n°3 résume les éléments clefs pour l'élaboration d'objectifs en termes d'activité physique chez l'enfant obèse dans une démarche d'éducation thérapeutique.**

- PUBLICATION N°3 -

ACTIVITE PHYSIQUE CHEZ L'ENFANT ET L'ADOLESCENT EN SURPOIDS OU OBESE
MODALITES DE PRESCRIPTION

Hélène Thibault, Sylvain Quinart, Sophie Renaud, David Communal, Jean Baptiste.

Publié dans " Cardio & Sport" 2012;32:33-38

Cet article est issu d'une collaboration avec les équipes hospitalières et universitaires de Bordeaux et Toulouse, en vue de promouvoir l'accompagnement en activités physiques proposé dans les recommandations de bonnes pratiques : Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent (HAS, 2011).

Activité physique chez l'enfant et l'adolescent en surpoids ou obèse

Modalités de prescription

INTRODUCTION

L'augmentation importante de la prévalence de l'obésité de l'enfant en fait un problème majeur de santé publique. Les obésités communes sont consécutives à des apports énergétiques dépassant les dépenses, quels que soient les mécanismes en cause. La diminution progressive des temps consacrés à la pratique d'activité physique (AP), dans les sociétés industrialisées, joue très certainement un rôle majeur dans le développement de l'obésité pédiatrique. Chez les enfants et les adolescents en surpoids ou obèses, ce manque chronique d'AP entraîne une altération progressive de leur condition physique et une image corporelle négative. Plus vulnérables face aux moqueries de leurs camarades, les activités physiques et sportives (APS) deviennent synonymes de souffrances physiques et morales. Ils développent alors des attitudes d'évitement, voire de rejet des pratiques sportives. Les jeux vidéo, l'ordinateur ou encore la télévision occupent, de ce fait, une place de plus en plus importante chez ces jeunes.

Dr Hélène Thibault*, Sylvain Quinart**, Sophie Renaud***, David Communal****, Dr Jean-Baptiste Mouton*****

RECOMMANDATIONS DE LA HAUTE AUTORITÉ DE LA SANTÉ

Dans le cadre du Programme National Nutrition Santé (PNNS), la Haute

* Pédiatre CHU de Bordeaux - RéPPOP Aquitaine
 ** Enseignant APA, RéPPOP-Franche Comté - CHU Besançon
 *** Enseignante APA, RéPPOP-Aquitaine Bordeaux
 **** Directeur et Enseignant en Activité Physique Adaptée de l'Association Prof'APA (Bordeaux) - Maître de conférences associé (MAST) à l'UFR STAPS - UPS Toulouse III
 ***** Pédiatre, praticien hospitalier, service des maladies cardiovasculaires congénitales, Hôpital Haut-Lévêque

Autorité de Santé (HAS) (1) a actualisé fin 2011 ses recommandations de bonne pratique sur « Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent ». Fondée sur les principes de l'éducation thérapeutique du patient, la prise en charge doit aider l'enfant/adolescent et sa famille à faire des choix raisonnés qui visent à lutter progressivement contre le déséquilibre entre apports (alimentation) et dépenses énergétiques (activité physique) (1). En prenant en compte les aspects physiologiques, psychologiques et sociaux.

La prescription en AP s'inscrit dans la durée afin de pérenniser des comportements actifs. Elle peut avoir pour objectifs le reconditionnement physique, l'amélioration de l'image de soi, la resocialisation... Pour cela, il est nécessaire de connaître les caractéristiques, les déterminants, les contraintes et les bénéfices attendus de l'AP ainsi que les différentes possibilités de pratique. Il est également nécessaire de bien connaître les paramètres d'évaluation clinique à prendre en compte afin de réaliser une prescription d'AP la plus adaptée aux spécificités de chaque enfant pour une orientation en toute sécurité.

DÉFINITION, BÉNÉFICES, CONTRAINTES ET DÉTERMINANTS DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE CHEZ L'ENFANT ET L'ADOLESCENT OBÈSE

DÉFINITION

L'activité physique se définit comme « tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui entraîne une augmentation substantielle de la dépense d'énergie au-dessus de la dépense énergétique de repos » (2).

Elle se caractérise par sa nature (type), son intensité, sa durée, sa fréquence et son contexte de pratique et comprend :

- **les activités scolaires et de la vie courante ;**
- **les activités de loisir** (structurées ou non) avec :
 - *l'exercice physique* : activité musculaire planifiée, répétée et contrôlée permettant d'améliorer sa condition physique ;
 - *le sport*, AP codifiée et organisée avec ou sans compétition.

INTÉRÊT

L'intérêt de l'AP dans la prévention et le traitement de l'obésité infantile n'est plus à démontrer (3). L'AP a des effets significatifs sur la condition physique et la composition corporelle (4). Par ailleurs, l'augmentation de l'AP chez l'enfant ou l'adolescent obèse induit des bénéfices sur les facteurs de risque métaboliques et cardiovasculaires, et les facteurs psychologiques (l'estime de soi, image corporelle) indépendamment de la baisse de l'indice de masse corporelle (IMC) (5).

► **Des sollicitations énergétiques différentes**

Les AP sollicitent les systèmes,

organes et fonctions de façon très différente selon leur type, leur intensité et leur durée. Chez le jeune obèse, la surcharge pondérale peut entraîner des sollicitations énergétiques plus importantes et motrices différentes de celle du jeune non obèse même sédentaire.

► **Des contraintes au niveau de l'appareil locomoteur**

Lors de la pratique d'AP, les contraintes imposées à l'appareil locomoteur et les risques traumatiques induits sont plus élevés chez l'enfant obèse du fait de l'encombrement et du poids des membres alors même que la force musculaire peut être proche de celle des sédentaires.

► **Des sollicitations cardio-vasculaires plus importantes**

Pour un niveau d'exercice identique, les sollicitations cardiovasculaires et respiratoires sont plus importantes chez l'enfant et l'adolescent obèse, avec des fréquences cardiaques et des débits ventilatoires plus élevés.

► **Importance des facteurs psychologiques**

Les déterminants psychologiques conditionnent la pratique d'AP. En effet, une bonne estime de soi favorise l'engagement dans une AP, en particulier par le biais de la motivation (2).

Certains enfants en surpoids peuvent exprimer un mal-être lié à une mauvaise image de leur corps engendrant des réticences à la pratique de l'AP. De plus, les enfants obèses bénéficient parfois de moins de soutien parental (encouragement ou pratique personnelle).

L'obésité peut également conduire à un isolement secondaire et à une stigmatisation par les camarades qui peut pousser l'enfant à éviter ses pairs ou du moins à éviter de partager avec eux certaines AP. Durant ces périodes de solitude, l'ennui et la culpabilité mènent au grignotage et à la sédentarité, ce qui participe à l'entretien ou au développement de l'obésité.

 **RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES EN TERMES D'ACTIVITÉ PHYSIQUE**

De nombreuses recommandations existent dans le domaine de l'activité physique. Certaines ont seulement pour objectif de contribuer au maintien de l'état de santé. Cependant, des recommandations plus spécifiques, visant à améliorer l'état de santé pour les enfants et adolescents (www.mangerbouger.fr) et en particulier chez les jeunes en surpoids, précisent qu'il est nécessaire de cumuler au moins 60 minutes d'activité physique par jour (1). Ces activités doivent être principalement endurantes, inclure systématiquement des pratiques plus vigoureuses, et favoriser le renforcement musculaire et osseux 2 à 3 fois par semaine (**Encadrés 1 et 2**).

ENCADRÉ 1 - RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES AUX ENFANTS ET ADOLESCENTS (1).

Chez l'enfant à partir de 6 ans et les adolescents :

- **Il est recommandé de parvenir à cumuler plus de 60 minutes d'activité physique quotidienne modérée à intense, sous forme de :**
 - **jeux** : activité récréative notamment à l'extérieur (ballon, vélo, rollers, frisbee...) ;
 - **loisirs** : danser, aller à la piscine, à la patinoire, au bowling, etc. ;
 - **sports** : scolaire, association sportive, maison de quartier, etc. ;
 - **déplacements** : promener le chien, aller à l'école à vélo, privilégier les escaliers, etc. ;
 - **activités de la vie quotidienne** : passer l'aspirateur, faire les courses, tondre la pelouse, etc.
- **Il est recommandé de limiter au maximum les comportements sédentaires, notamment les temps d'écran à visée récréative (télévision, console de jeux, ordinateur, téléphone portable).**

Extraits des recommandations de bonnes pratiques « Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent - Actualisation des recommandations 2003 » - Septembre 2011 (www.has.fr).

ENCADRÉ 2 - RECOMMANDATIONS SPÉCIFIQUES À L'ENFANT ET L'ADOLESCENT EN SURPOIDS OU OBÈSE (1).

- Les notions de plaisir, de rencontre et de bien-être physique et psychique doivent être mises en avant pour faciliter la pratique d'une activité physique et son maintien au long cours.
- L'objectif est de faire émerger chez la famille les ressources nécessaires afin que l'environnement devienne favorable à une pratique physique plus régulière.
- Les objectifs et conseils en activité physique doivent être ajustés en fonction des facteurs personnels de l'enfant (âge, sexe, niveau de surpoids, capacités physiques, pratiques physiques existantes, motivation...) et de ses facteurs extrinsèques (possibilités familiales, environnement...).
- En cas de gêne à la pratique de l'activité physique, en particulier dans le cadre scolaire, il est recommandé d'utiliser un certificat médical d'inaptitude partielle (précisant les limites physiques, physiologiques et psychologiques) plutôt qu'une dispense totale d'activité physique et sportive.

Extraits des recommandations de bonnes pratiques « Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent - Actualisation des recommandations 2003 » - Septembre 2011 (www.has.fr).

EVALUATION PRÉALABLE À LA PRESCRIPTION D'ACTIVITÉ PHYSIQUE POUR LES ENFANTS OU ADOLESCENTS EN SURPOIDS OU OBÈSES

L'objectif est de prescrire les APS les plus adaptées aux besoins de l'enfant, dans un cadre sécuritaire, tout en favorisant le plaisir perçu.

L'évaluation initiale est composée

d'une évaluation du niveau d'excès de poids, d'un examen clinique centré sur les aptitudes physiques et d'un diagnostic éducatif ou d'un entretien de compréhension autour de l'activité physique et de la sédentarité. Elle sera éventuellement complétée par des examens supplémentaires.

Compte tenu de l'ensemble des éléments nécessaires à cette évaluation initiale, celle-ci pourra se dérouler sur

plusieurs consultations et être réalisée par différents professionnels.

EVALUATION STATURO-PONDÉRALE

L'évaluation de l'importance du surpoids comprendra la mesure du poids, de la taille, du tour de taille et le calcul de l'IMC ($IMC = \text{poids} / \text{taille}^2$) et le rapport du tour de taille / taille (si le rapport tour de taille / taille est $> 0,5$, l'enfant présente un excès de graisse abdominale associé à un risque cardiovasculaire et métabolique accru). Les courbes de poids, de taille et de corpulence seront tracées à partir des données antérieures de poids et de taille en se référant, pour définir le surpoids et l'obésité, aux seuils recommandés des courbes de corpulence du PNNS 2010 adaptées à la pratique clinique chez l'enfant et l'adolescent jusqu'à 18 ans (Tab. 1). Ces seuils sont issus à la fois des références françaises (6) et des références de l'IOTF (*international obesity task force*) (7).

EVALUATION CLINIQUE CENTRÉE SUR LES APTITUDES PHYSIQUES

L'examen clinique comprendra :

- un entretien précis avec la famille avec recherche des antécédents personnels et familiaux pouvant évoquer l'existence d'un facteur de risque étiologique et/ou traduisant l'existence d'une éventuelle comorbidité ou de complications ;
- le repérage d'éventuels signes de souffrance psychologique, en particulier de trouble de l'estime de soi et du corps ;
- un examen médical complet sur la base des recommandations de la HAS (1) comprenant en particulier :
 - la recherche des signes d'une pathologie endocrinienne ou d'une obésité syndromique ;
 - la recherche de comorbidités de l'obésité et indications d'examen complémentaires ;
 - l'évaluation de la tolérance

Tableau 1 - Termes et seuils recommandés pour définir le surpoids et l'obésité chez l'enfant et l'adolescent jusqu'à 18 ans, selon les courbes de corpulence du PNNS de l'INPES (www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/IMC/courbes_enfants.pdf).

IMC < 3 ^e percentile	Insuffisance pondérale
3 ^e ≤ IMC < 97 ^e percentile	Corpulence normale
IMC ≥ 97 ^e percentile	Surpoids (incluant l'obésité)
IMC ≥ seuil IOTF-30*	Obésité**

*IOTF-30 = courbe atteignant la valeur 30 à 18 ans (la valeur 30 étant le seuil définissant l'obésité chez l'adulte).
 **L'obésité, qui débute à partir du seuil de l'IOTF-30, est une forme sévère du surpoids.
 • Extraits des recommandations de bonnes pratiques « Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent - Actualisation des recommandations 2003 » - Septembre 2011 (www.has.fr).

Tableau 2 - Évaluation de l'activité physique et de la sédentarité.

Facteurs à évaluer	Exemple de questions à poser (enfant/parents)
Les pratiques physiques et sportives antérieures et leur contexte psychologique et social	
<ul style="list-style-type: none"> • Représentation des APS • Plaisir ressenti • Sentiment de compétence • Relation aux autres (stigmatisation) • Image du corps • Intolérance à l'échec 	<p>Quelles activités sportives as-tu déjà pratiquées ? Quelles sont les activités que tu as appréciées ? Quelles sont les raisons qui ont fait que tu as arrêté cette activité ? Lorsque tu pratiques, es-tu gêné par quelque chose ? Est-ce qu'il arrive que l'on se moque de toi ? As-tu des difficultés pour t'intégrer dans un groupe ?</p>
Les habitudes de vie acquises et les goûts actuels pour les APS	
<ul style="list-style-type: none"> • Conditions d'inactivité physique et de sédentarité <ul style="list-style-type: none"> - équipements multimédia et audio-visuel - lieu et durée d'utilisation • Conditions de la pratique physique <ul style="list-style-type: none"> - encadrée (scolaire, association sportive) - non structurée (loisir, jeu) - en autonomie (déplacement à pied/vélo) 	<p>Combien de temps passes-tu devant les écrans le week-end / les jours d'école ? Y a-t-il une TV / un ordinateur dans ta chambre ? Qu'est-ce que tu aimes dans ce jeu vidéo ?</p> <p>Quelles activités sportives pratiques-tu en dehors de l'école ? (nature, fréquence, durée, intensité) Comment te rends-tu à l'école ? Que fais-tu en rentrant ? As-tu d'autres loisirs ? (musique, théâtre...)</p>
L'environnement dans lequel vit l'enfant et les possibilités qui lui sont offertes	
<ul style="list-style-type: none"> • Contexte familial • Niveau socio-économique • Réseaux sociaux • Environnement géographique • Tissu associatif local 	<p>Y a-t-il des pratiques physiques communes dans ta famille ? As-tu accès à des loisirs actifs ? (parc, vélo, rollers...) Quelle est la distance domicile - école ? Qui peut te soutenir dans ton projet sportif ? Penses-tu qu'il faille limiter le temps d'écran à la maison ?</p>
<p><i>Outil accompagnant la recommandation de bonne pratique « Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent - Actualisation des recommandations 2003 » - Septembre 2011 (www.has.fr).</i></p>	

cardio-vasculaire et respiratoire ;
 - l'évaluation de la tolérance ostéo-articulaire (appareil locomoteur).

DIAGNOSTIC ÉDUCATIF AUTOUR DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET DE LA SÉDENTARITÉ

► Objectifs

Il est nécessaire de réaliser un diagnostic éducatif ou un entretien de compréhension (Tab. 2) explorant différentes dimensions autour de l'activité physique et de la sédentarité. Cet entretien permet d'évaluer la demande et les besoins exprimés ou non de l'enfant ou de l'adolescent et de sa famille. Il a pour but d'identifier les leviers sur lesquels il est possible d'agir afin de modifier

les habitudes de vie ayant contribué au développement et au maintien de l'obésité (arrêt de la pratique, sédentarité, temps passé devant les écrans, etc.).

En effet, la réussite de la prise en charge de l'enfant et de l'adolescent obèse repose sur la modification des comportements (sédentarité et AP) et dans l'individualisation des APS, ceci afin de pérenniser une pratique physique régulière. L'OMS précise que pour mieux apprécier toutes les dimensions de l'activité physique chez l'enfant, il est indispensable de considérer que « l'activité physique englobe notamment le jeu, les sports, les déplacements, les tâches quotidiennes, les activités récréatives, l'éducation physique ou

l'exercice planifié, dans le contexte familial, scolaire ou communautaire » (8).

► Notion de plaisir et implication de la famille

Permettre à l'enfant d'éprouver du plaisir à pratiquer une AP en toute sécurité est indispensable pour obtenir des effets bénéfiques à long terme. L'implication de la famille est essentielle pour accompagner cette reprise d'activité. L'objectif est d'inscrire le jeune et sa famille dans une démarche de projet, en prenant en compte les freins qui existent autour des APS. La prise en charge sera donc graduée en fonction des difficultés à investir le champ de l'activité physique (niveau d'obésité, limite

fonctionnelle, motivation, environnement...).

Le **tableau 2**, extrait des recommandations de la HAS (1), résume les principaux facteurs à évaluer et propose des exemples de questions à poser à l'enfant ou à la famille.

EXPLORATIONS COMPLÉMENTAIRES

La prescription d'examen complémentaire spécifique à la prescription d'AP sera adaptée au contexte clinique et en particulier au niveau d'obésité et à l'existence de signes cliniques évocateurs d'une mauvaise tolérance à la pratique de l'activité physique : essoufflement important lors d'efforts modérés, sensations de malaise, douleurs, anomalies de l'appareil locomoteur et/ou désadaptation à l'effort.

► L'épreuve d'effort

Une épreuve d'effort (EE) médicale est indiquée dans les cas d'obésité, entraînant des signes cliniques anormaux cardiovasculaires, ventilatoires ou métaboliques à l'effort quel qu'en soit le degré et/ou en cas d'obésité majeure. L'EE s'effectue dans un service spécialisé de cardio-pédiatrie ou de médecine du sport disposant de matériel médical adapté aux enfants obèses, selon leurs capacités, âge, taille et poids (tapis roulant ou cyclo-ergomètre). L'épreuve d'effort permet :

- **de dépister d'éventuelles pathologies** contre-indiquant la pratique d'un exercice physique, d'évaluer leur importance et leurs retentissements ;
- **d'orienter vers des explorations complémentaires et/ou un traitement ;**
- **d'évaluer les aptitudes aérobies** (seuils ventilatoires, VO_2 max) et la perception subjective de l'effort (échelle de Borg), pour adapter le reconditionnement à l'effort.

ACCOMPAGNEMENT EN ACTIVITÉ PHYSIQUE DE L'ENFANT ET L'ADOLESCENT EN SURPOIDS OU OBÈSE : COMMENT PRESCRIRE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ?

Le but est d'augmenter l'activité physique et de réduire la sédentarité. L'objectif de l'accompagnement par le médecin est de faire émerger chez la famille les ressources nécessaires afin que l'environnement devienne favorable à une pratique physique plus régulière. L'appui d'un enseignant en APA et santé, d'un médecin du sport, et/ou d'un masseur-kinésithérapeute peut être nécessaire en fonction de la sévérité de la situation, de l'expertise du médecin dans ce domaine et du temps que ce dernier peut y consacrer durant ses consultations.

MODALITÉS DE PRESCRIPTION INDIVIDUELLE D'AP

► Promotion de l'AP de la vie quotidienne

Lors de la prise en charge d'un enfant ou adolescent en surpoids ou obèse, la prescription d'AP, basée sur les recommandations générales communes à tous les patients, prend en compte les spécificités de chacun. Elles dépendent du niveau d'obésité, des aptitudes physiques, des expériences de pratique antérieures, de la motivation et des possibilités de l'enfant et de son entourage.

Dans tous les cas, la prescription s'appuiera sur la promotion de l'AP de la vie quotidienne (**Encadrés 1 et 2**) et en particulier sur :

- **la lutte contre les comportements sédentaires** : limitation des temps d'écran récréatifs (TV, ordinateur, jeux vidéo, téléphones...), réduction des temps d'inactivité ;
- **l'incitation à la pratique d'une**

activité physique quotidienne et à augmenter les déplacements actifs : aller à l'école à pieds ou à vélo, privilégier les escaliers, promener le chien... ;

- **l'augmentation de l'activité physique de loisir** : promenades en famille, jeux extérieurs avec des amis... ;
- **l'activité sportive périscolaire**, l'éducation physique et sportive scolaire (EPS) et associations sportives scolaires (USEP, UNSS) : maison de quartier, centre aéré ou de loisirs, colonies de vacances (ACM)... ;
- **les associations et clubs sportifs**, clubs multisports "loisirs-santé".

► Certificat médical d'(in)aptitude partielle

Pour limiter les dispenses totales d'EPS et pour améliorer les pratiques physiques existantes (association sportive, scolaire...), il pourra être utile d'élaborer un certificat médical d'(in)aptitude partielle (1). Ce certificat précise les limites fonctionnelles physiques, physiologiques et/ou psychologiques, en respectant le secret professionnel et les règles déontologiques. Ce certificat vise à sensibiliser les enseignants d'EPS ou les éducateurs sportifs afin qu'ils adaptent leurs séances aux contraintes de l'enfant en surpoids ou obèse.

► Autres recours

Dans les situations où l'enfant présente des signes cliniques de mauvaise tolérance à l'effort, d'autres recours pourront être proposés en complément comme :

- des ateliers d'activité physique adaptée, (associations, réseau de santé...);
- des programmes d'éducation thérapeutique (CH, réseau de santé...);
- des séances de kinésithérapie ou de psychomotricité en cabinet libéral ;

- des séjours thérapeutiques (centre de soins de suite et de réadaptation).

ELABORATION D'OBJECTIFS EN TERMES D'AP DANS UNE DÉMARCHE D'ÉDUCATION THÉRAPEUTIQUE

La prescription d'activité physique, comme l'ensemble de la prise en charge des enfants et adolescents en surpoids ou obèses, doit s'intégrer dans une démarche globale basée sur les principes de l'éducation thérapeutique. Ainsi, à la fin de l'évaluation initiale, le diagnostic éducatif permet de faire une synthèse avec le patient et sa famille, afin de définir les difficultés, les ressources et le savoir-faire de chacun et les priorités de la prise en charge. Pour se faire, il est recommandé que le médecin aide l'enfant/adolescent et sa famille à trouver eux-mêmes des solutions en évitant de leur imposer son propre point de vue. En pratique, l'enfant/adolescent et sa famille choisissent avec le médecin un nombre limité d'objectifs précis, impliquant un changement de comportement qu'ils se sentent capables de réaliser, et qu'ils envisagent ensemble les stratégies permettant



© Jason Titzer - Istockphoto

d'atteindre leurs objectifs. Chaque objectif est donc raisonnable, atteignable et adapté aux préférences et possibilités de l'enfant qui ont été identifiées au préalable.

L'enfant et sa famille seront ensuite accompagnés dans le suivi par le ou les professionnels impliqués dans la prise en charge globale (médecin traitant, pédiatre ou généraliste), ou spécifique à l'AP (médecin du sport, enseignant en APA, professeur d'EPS, kinésithérapeute...) de manière à ce que cette prescription

puisse s'inscrire dans la durée et de l'aider à maintenir sa motivation au long cours. En effet, la continuité de l'activité physique est une des pièces maîtresses de la réussite du traitement à moyen et long terme, tant sur le plan de la composition corporelle que sur le plan de l'épanouissement personnel.

MOTS-CLÉS

Surpoids, Obésité, Activité physique, Sédentarité, Enfant

BIBLIOGRAPHIE

1. Haute Autorité de Santé (HAS). Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent. Actualisation des recommandations 2003. 2011.
2. Ministère de la Santé, d.I.J., des Sports et de la Vie associative. Activité physique et obésité de l'enfant, bases pour une prescription adaptée. 2008.
3. Simon C, Schweitzer B, Oujaa M et al. Successful overweight prevention in adolescents by increasing physical activity: a 4-year randomized controlled intervention. *Int J Obes (Lond)* 2008 ; 32 : 1489-98.
4. LeMura LM, Maziakas MT. Factors that alter body fat, body mass, and fat-free mass in pediatric obesity. *Med Sci Sports Exerc* 2002 ; 34 : 487-96.
5. Goldfield GS, Mallory R, Parker T et al. Effects of modifying physical activity and sedentary behavior on psychosocial adjustment in overweight/obese children. *J Pediatr Psychol* 2007 ; 32 : 783-93.
6. Rolland-Cachera MF, Cole TJ, Sempé M et al. Body Mass Index variations: centiles from birth to 87 years. *Eur J Clin Nutr* 1991 ; 45 : 13-21.
7. Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ* 2000 ; 320 : 1240-3.
8. World Health Organization. Addressing the socioeconomic determinants of healthy eating habits and physical activity levels among adolescents. 2006, World Health Organization: Geneva.

3. L'ENTRAÎNEMENT CHEZ LE JEUNE OBESE

Dans la prise en charge de l'obésité pédiatrique, l'activité physique a plusieurs objectifs : d'une part, l'augmentation de la dépense énergétique en accentuant la participation des lipides dans la fourniture d'énergie, et d'autre part, la stimulation de la masse musculaire représentant le tissu le plus métaboliquement actif de l'organisme, et donc le principal déterminant du métabolisme de repos. L'entraînement sportif adapté nécessite donc une évaluation physiologique des aptitudes physiques, généralement réalisée au cours d'une épreuve d'effort en laboratoire avec mesure des échanges gazeux (Dupuis & Daudet, 2001). Deux techniques d'exploration complémentaires permettent de déterminer des seuils d'entraînement utiles pour choisir et adapter les modalités de rééducation des adolescents obèses :

- Le test de calorimétrie d'effort selon le protocole décrit par Perez-Martin *et al.* (2001) qui détermine la part respective d'oxydation des glucides et des lipides au cours d'un exercice sous-maximal. Le $Lipox_{max}$ est l'intensité d'exercice qui permet l'oxydation maximale des lipides (Brun *et al.*, 2007).
- Le test cardiorespiratoire selon le protocole décrit par Wasserman *et al.* (2011) qui évalue l'évolution du métabolisme énergétique (aérobie, mixte, anaérobie) au cours d'un exercice maximal et ainsi estime les seuils ventilatoires et lactiques.

La majorité des études relatives à l'obésité pédiatrique utilise les exercices musculaires de type aérobie. Toutefois, l'intensité précise à laquelle l'entraînement doit être pratiqué chez l'adolescent obèse reste encore controversée aujourd'hui.

Un entraînement en endurance à faible intensité d'exercice (Brandou *et al.* 2003) (Lazzer *et al.*, 2010) induit une oxydation maximale des lipides durant l'exercice et une amélioration de la composition corporelle. Un travail au $lipox_{max}$ ($\approx 40\% VO_2max$ chez le jeune obèse) augmente la capacité à oxyder les lipides avec l'entraînement (Ounis *et al.*, 2009), néanmoins des variations sont observées selon la maturité sexuelle (Brandou *et al.*, 2005).

Un entraînement en endurance alternant des intensités modérées à élevées (entre SV_1 et $SV_2 \approx 50$ à $70\% VO_2max$ chez le jeune obèse) améliore la santé cardiovasculaire (Tjonna *et al.*, 2009). Gueugnon

et al. (2011) ont, quant à eux, montré qu'un entraînement alternant des phases de travail court et intense et des phases de récupération active, a des effets bénéfiques sur la composition corporelle, l'aptitude aérobie et l'efficacité des fonctions ventilatoires, avec une diminution de la sensation d'essoufflement et de la fatigue musculaire de l'adolescent obèse.

Un entraînement à intensité élevée (à SV_2) améliore aussi la composition corporelle, augmente la condition physique (Tan *et al.*, 2010) et diminue l'appétit en post-exercice (Thivel *et al.*, 2012).

Enfin, un entraînement fractionné à très haute intensité (supra-maximale) montre, chez l'adulte obèse, une augmentation du taux d'oxydation des lipides à jeun (Whyte *et al.*, 2010) à l'origine d'une stimulation de la lipolyse en récupération. Cependant, ce type d'entraînement n'a pas encore été étudié chez les jeunes obèses car difficilement accessible pour ce public.

Ces types d'entraînement sont différents mais tous sont sans doute intéressants à combiner dans la prise en charge du jeune obèse. Pour modifier la composition corporelle, diminuer la masse grasse et préserver voire augmenter la masse maigre, LeMura & Maziekas (2002) rapportent que l'entraînement est efficace chez l'enfant si les exercices sont de faible intensité et de longue durée ou s'ils sont réalisés dans des conditions aérobies associées à des exercices en anaérobie sous forme répétée et s'ils sont combinés à une approche comportementale. Par ailleurs, Coquart *et al.* (2008); (2012) ont montré l'intérêt des programmes intermittent (ou *interval training*) basés sur la perception de l'effort dans la réhabilitation à l'exercice de l'adulte obèse.

L'optimisation de l'activité physique dans la prise en charge de l'obésité passe donc par l'élaboration de programmes d'entraînement visant à cibler et combiner certaines intensités. L'exploration de la capacité aérobie en laboratoire est actuellement un préalable pour calibrer un entraînement sportif adapté. Néanmoins, face à la prévalence actuelle de l'obésité et au vu du faible nombre de plateaux techniques proposant ce type d'exploration en France, il s'avère nécessaire d'élaborer de nouveaux outils pour répondre à un besoin croissant des professionnels en activité physique impliqués dans la prise en charge de ces jeunes.

CHAPITRE IV : OUTILS D'ÉVALUATION DE L'ENDURANCE CARDIORESPIRATOIRE

Le développement des outils d'évaluation de terrain valides pour explorer l'endurance cardiorespiratoire chez le jeune obèse et accessibles aux professionnels de l'activité physique pour élaborer des programmes d'activité physique personnalisés à des fins de santé devient une priorité dans la prise en charge de l'enfant obèse. En effet, à l'heure actuelle, les programmes de réentraînement requièrent trop souvent une évaluation physiologique des aptitudes physiques à partir d'épreuves d'effort maximales en laboratoire, difficilement accessibles puisqu'elles nécessitent un équipement sophistiqué, onéreux et du personnel compétent.

1. TESTS DE TERRAIN

Le développement de tests d'aptitude de terrain, notamment dans le milieu sportif, a permis d'évaluer la capacité cardiorespiratoire à l'exercice. Ces tests standardisés sont peu coûteux, ludiques, simples de réalisation, de compréhension et d'interprétation. Leur fiabilité par rapport aux épreuves de laboratoire (sur ergocycle ou tapis roulant), bien que restant l'examen de référence, et leur reproductibilité ont été largement étudiées chez l'adulte sain (Noonan & Dean, 2000). Historiquement, trois types de tests ont été développés pour déterminer des indices d'endurance cardiorespiratoire et estimer la consommation maximale d'oxygène (VO_2 pic) :

- les tests de course limités en distance, tel que le « one-mile run test » (Kline *et al.*, 1987), ou limités en temps, tel que le « twelve minute run test » (Cooper 1968),
- les tests de course « progressivement accélérée » (Leger & Lambert, 1982).
- les tests sous-maximal sur bicyclette ergométrique (Astrand & Ryhming, 1954).

Dès la fin des années 1980, des protocoles de terrain similaires ont été validés chez l'enfant :

- le test course navette progressif sur 20 mètres (20MST : 20m Multi-stage Shuttle run Test) (Leger *et al.*, 1988),
- le test de course sur une distance de 1 mile (Cureton *et al.*, 1995),

- la capacité de travail à $170 \text{ batt.min}^{-1}$ sur bicyclette ergométrique (PWC170 : physical working capacity) (Rowland *et al.*, 1993).

Faciles à mettre en œuvre, ces tests évaluent la tolérance à l'exercice, notamment par l'élaboration d'équations de prédiction du VO_2max spécifique à l'enfant. Inclus dans les batteries de tests telles que Eurofit (Committee of experts on sports research, 1993), YMCA Fitness Testing (Golding, 2000), FitnessGram (Welk & Blair, 2008) qui évaluent plus largement la condition physique, ils sont actuellement utilisés dans les études épidémiologiques comme indicateurs de la santé cardiorespiratoire des jeunes.

En pédiatrie, l'utilisation de ces tests de terrain est plus récente, notamment pour mieux apprécier le niveau de déconditionnement physique, l'impact de la maladie sur la vie quotidienne, et donc la qualité de vie du jeune patient (Pouessel *et al.*, 2006; Lindsay *et al.*, 2013). Initialement expérimentés chez l'adolescent asthmatique (Ahmaidi *et al.*, 1993), les protocoles originaux ont été progressivement adaptés aux contraintes liés à la pathologie ou au handicap. Gulmans *et al.* (1996) proposent un test de marche « limité en temps » en réduisant la durée à 6 minutes (TM-6 : test de marche en 6 min) chez des enfants atteints de mucoviscidose. Ce test consiste à parcourir la plus grande distance durant le temps imparti en marchant aussi vite que possible. Le rythme de marche n'étant pas contrôlé, l'investissement du jeune patient a une influence sur la distance totale parcourue. C'est pourquoi l'exploration est complétée par la mesure d'autres paramètres, tels que la fréquence cardiaque, la saturation en oxygène, ou encore les sensations de dyspnée. Selvadurai *et al.* (2003), quant à eux, valident pour cette même population, un test de marche « progressivement accéléré » (ISWT : Incremental Shuttle Walk Test), inspiré des études réalisées chez des adultes bronchiteux (Singh *et al.*, 1992; Bradley *et al.*, 1999). S'appuyant sur les principes du 20MST, ce test de marche à vitesse croissante consiste à réaliser un parcours, en aller-retour entre 2 plots distants de 10 m, en marchant puis en courant le plus longtemps possible. Le sujet se déplace au rythme d'une bande sonore enregistrée et calibrée qui démarre à $1,8 \text{ km.h}^{-1}$ et est incrémenté de $0,6 \text{ km.h}^{-1}$ chaque minute. La distance totale parcourue ou la vitesse maximale atteinte est alors retenue

lorsque le jeune patient n'arrive plus à suivre le rythme imposé. Les 15 paliers de ce test permettent de réaliser un effort contrôlé et incrémenté qui pallie le problème d'investissement rencontré sur les tests de marche « limités en temps ou en distance ». Toutes ces études corrént la performance physique au niveau de déconditionnement physique du patient. Cependant, l'absence de normes spécifiques pour les publics pathologiques reste actuellement une contrainte en pédiatrie pour l'interprétation des résultats.

Chez le sujet obèse, Norman *et al.* (2005) mettent en évidence que les tests de marche évaluant l'endurance cardiorespiratoire sur le terrain sont faussés par le fait que le sujet porte son excès de poids et donc fournit, à même vitesse, un effort supérieur à celui d'un sujet normo-pondéré. Plusieurs auteurs ont montré la nécessité de modifier ces tests de référence, afin qu'ils soient accessibles et qu'ils explorent correctement la capacité aérobie du sujet obèse (Drinkard *et al.*, 2001; Klijn *et al.*, 2007; Wallman & Campbell, 2007). En effet, une charge de travail ou une vitesse trop élevée induit un arrêt prématuré de l'exercice, peut mettre en danger le patient et sous ou surestimerait l'aptitude du sujet.

Drinkard *et al.* (2001) ont validé l'utilisation du test de marche/course en 12 min (TMC-12) chez des adolescents obèses et ont montré qu'en adaptant l'allure de course (marche ou course), ce test est bien toléré par ce public. Cependant, Calders *et al.* (2008) montrent que les équations d'estimation du $VO_2\text{max}$ sur TM-6 et le TMC-12 proposées aux adolescents obèses ne sont pas valides. Ils proposent des coefficients correcteurs mais notent une variation au cours du temps, notamment lorsque la composition corporelle des sujets évolue. Elloumi *et al.* (2011) confirment les corrélations entre la performance au TM-6 et le $VO_2\text{max}$, tout comme la performance au TM-6 et l'IMC chez l'adolescent obèse. Ce dernier paramètre a une importance majeure dans la prédiction du $VO_2\text{max}$ et pourrait expliquer les erreurs dans les équations actuelles lorsqu'elles sont appliquées chez le jeune obèse.

Concernant les tests incrémentés, plusieurs auteurs (Mesa *et al.*, 2006; Castro-Pineiro *et al.*, 2011) s'accordent sur le fait que les jeunes obèses ont des résultats médiocres sur le 20MST. Klijn *et al.*

(2007) ont démontré, quant à eux, que l'ISWT est fiable, sensible et facile à administrer chez des jeunes en surpoids, pour évaluer la capacité aérobie au cours d'une prise en charge. Les données récentes chez l'obèse suggèrent la mise en place d'épreuves moins traumatiques sur le plan biomécanique, évitant les contraintes liées à l'enchaînement d'accélération et de décélération successives, pour adapter ces tests incrémentés. Pillard *et al.* (2011) ont élaboré un parcours en 8, permettant au jeune de poursuivre sa course par de longs virages. Rey *et al.* (2013) ont quant à eux, proposé un test progressif de type intermittent avec une succession de phase de course et de repos. Ces deux tests n'ont actuellement pas fait l'objet d'études comparées à des mesures en laboratoire. Enfin, Ward *et al.* (1997) ont comparé la PWC170 chez des jeunes filles normo-pondérées et obèses, et ont montré qu'elle est similaire, voire supérieure en valeur absolue, chez les jeunes en surpoids. Cependant, lorsque les scores sont rapportés au poids corporel, le groupe en surpoids présente des valeurs significativement plus faibles. Le « submaximal YMCA cycle ergometer test » (Golding, 2000) est un test sous-maximal sur bicyclette ergométrique qui permet d'extrapoler la Puissance Maximale Aérobie (PMA), en fonction des valeurs de FC observées sur 3 ou 4 charges de travail et de la FC maximale théorique du sujet (**Figure 8**). Wallman & Campbell (2007) ont montré que ce type de test est reproductible et peut être utilisé pour prédire le VO_2 pic chez des adultes obèses.

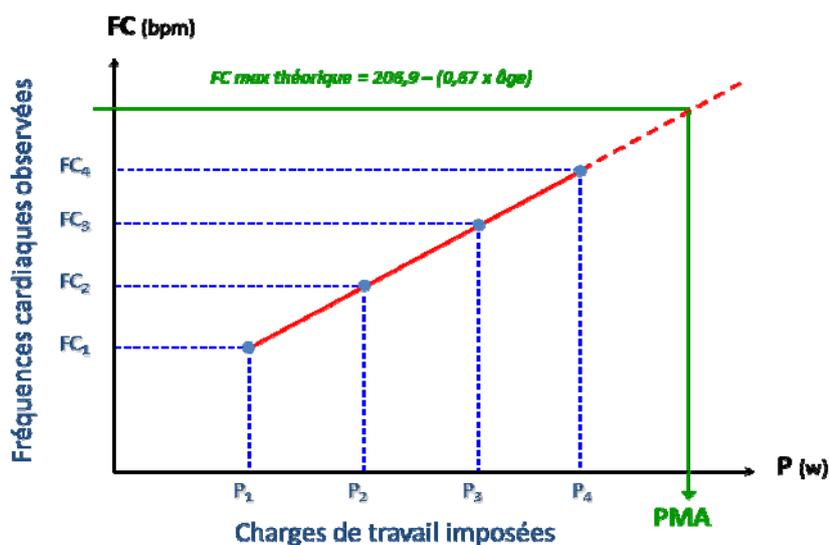


Figure 8 : Extrapolation de la PMA à partir d'un test sous-maximal sur ergocycle selon ACSM (2009).

2. VARIABILITE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

La Fréquence Cardiaque (FC) varie continuellement sous l'influence de mécanismes de contrôle dont le but est de maintenir l'homéostasie cardiovasculaire face aux perturbations extérieures. Le nœud sinusal est un amas de cellules cardiaques hautement spécialisées contenant peu de myofibrilles qui est situé dans la partie supérieure de l'oreillette droite du cœur humain. Aussi appelé stimulateur cardiaque naturel du cœur (cellules pacemaker), il génère des impulsions électriques, et est la source de chaque battement cardiaque. Le rythme moyen de dépolarisation des cellules du nœud sinusal peut aussi être exprimé par la durée de l'intervalle de temps qui sépare deux ondes R (**Figure 9**). On parle alors de durée de l'intervalle R-R exprimée en milliseconde (ms). Si la signification de la variabilité de l'intervalle « R-R » est encore remise en question, il est indéniable que la mesure de la Variabilité de la Fréquence Cardiaque (VFC) demeure un outil intéressant car elle constitue l'un des rares moyens non invasifs d'apprécier le fonctionnement du contrôle nerveux autonome (Mourot, 2004). Le développement de cardio-fréquencemètres permettant l'enregistrement de la VFC en a d'ailleurs généralisé son utilisation sur le terrain (Cassirame *et al.*, 2007).

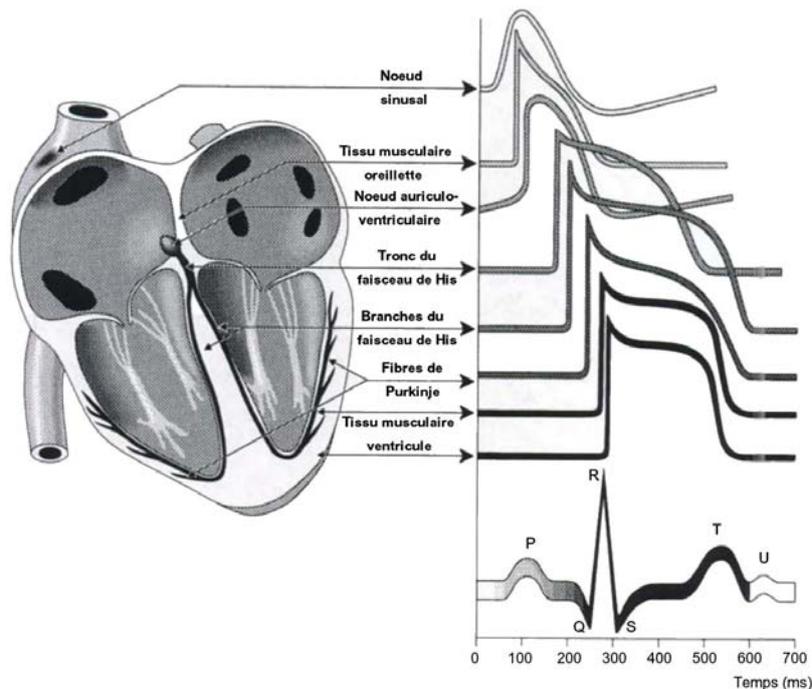


Figure 9 : Électrophysiologie du cœur : propagation de l'influx électrique dans le myocarde et formation du complexe QRS. Adaptée de Malmivuo & Plonsey (1995).

Aujourd'hui largement répandue dans le domaine de l'entraînement chez le sportif, la VFC est une mesure intéressante pour évaluer les effets de l'entraînement (Sandercock & Brodie, 2006; Gamelin *et al.*, 2009), détecter et prévenir l'apparition du surentraînement (Baumert *et al.*, 2006; Hynynen *et al.*, 2006), ou encore d'estimer les seuils ventilatoires (Cottin *et al.*, 2007).

La VFC fait donc référence aux oscillations spontanées du rythme cardiaque. À l'exercice, celles-ci sont à mettre en relation avec :

- l'activité du système nerveux autonome et les influences réciproques des voies sympathiques et parasympathiques qui innervent le myocarde,
- la respiration, par les centres nerveux de la ventilation et les influences mécaniques périphériques.

L'analyse de cette VFC par les méthodes temporelle et spectrale, permet d'obtenir des indices reflétant l'activité des systèmes cardiaque et respiratoire (Task Force of the European Society of Cardiology, 1996).

À partir de données d'intervalle R-R, l'analyse dans le domaine temporel est la méthode la plus simple pour apprécier les variations de la durée entre deux battements cardiaques au moyen de simples indices statistiques :

- SDNN (déviation standard de l'intervalle R-R) exprimé en ms, constitue l'écart-type d'une série d'intervalles R-R et correspond à la variabilité globale du signal analysé.
- rMSSD exprimé en ms, est la racine carrée de la moyenne des carrés des différences entre les intervalles R-R. Indice de la variabilité à court terme, elle représente la modulation parasympathique de l'activité cardiaque.
- pNN50 est le pourcentage de périodes R-R adjacentes dont la différence est supérieure à 50 ms pour une période donnée.

Le rMSSD rendant compte du tonus vagal a un intérêt particulier au cours d'un exercice à charge croissante car il traduit la diminution de l'activité parasympathique au profit d'une augmentation de l'activité orthosympathique. Toutefois, si l'ensemble de ces calculs est simple d'accès, l'une des limites les plus importantes de l'analyse dans le domaine temporel est le manque de discrimination entre les deux branches du système nerveux autonome.

L'analyse, dans le domaine fréquentiel, d'une série de données d'intervalle R-R s'effectue par une « transformée de Fourier ». Ainsi, en fonction de la fréquence des oscillations présentes dans la série, le périodogramme permet d'obtenir la répartition de la densité spectrale (exprimée en $\text{ms}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$) (**Figure 10**). Il décompose le signal en sinusoides simples d'amplitude (puissance en ms^2), de fréquence (pic en Hz) et de phase différentes (bandes de fréquences).

Des phénomènes physiologiques ont été attribués à ces bandes de fréquence :

- haute fréquence, supérieure à 0,15 Hz, reflète l'activité parasympathique, couplée avec une influence centrale et périphérique respiratoire. Elle va particulièrement nous intéresser à l'exercice physique intense, car elle est médiée par le phénomène d'arythmie respiratoire.
- basse fréquence, entre 0,04-0,15 Hz, est attribuée à la modulation de l'activité orthosympathique et parasympathique contrôlant le nœud sinusal. Il semble cependant que la puissance spectrale en BF représente des mécanismes plus complexes que la simple influence de ces activités.
- très basses fréquences, inférieure à 0,04 Hz, représente l'activité à plus long terme du système rénine-angiotensine et de la thermorégulation.

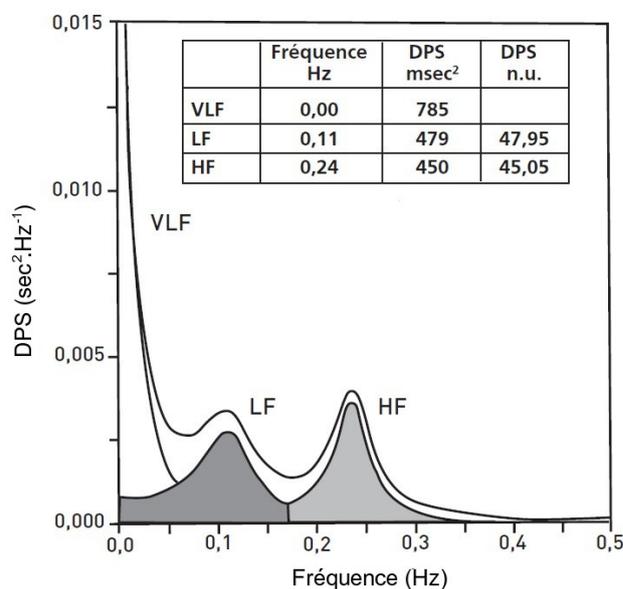


Figure 10 : Périodogramme issu de l'analyse fréquentielle d'une série de données d'intervalle R-R.

DPS: density power spectral;
VLF: very low frequency;
LF: low frequency; HF: high frequency.

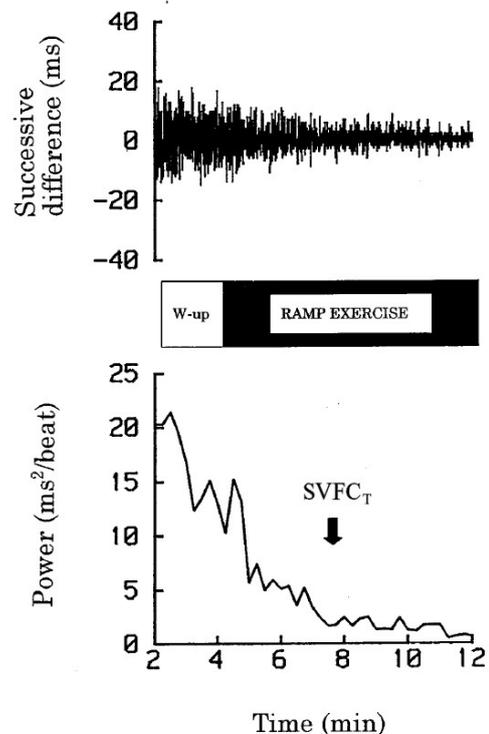


Figure 11 : Analyse temporelle de la VFC au cours d'un exercice incrémenté. Adaptée de Shibata et al. (2002).

Plusieurs auteurs ont suggéré que l'analyse de la VFC au cours d'un exercice incrémenté pouvait être une méthode alternative de choix pour déterminer les seuils ventilatoires. En effet, Shibata *et al.* (2002) ont montré, chez l'adulte obèse, au cours d'une épreuve d'effort par paliers, que l'analyse temporelle de la VFC permettait de caractériser le seuil de retrait de l'activité vagale (SVFC_T) (**Figure 11**) qui est corrélé au SV₁ (Dourado *et al.*, 2010) ou encore au seuil lactique (Karapetian *et al.*, 2008). Par ailleurs, une analyse fréquentielle de la VFC de type temps variant, permet de modéliser l'activité respiratoire au cours de l'épreuve d'effort et ainsi de définir deux points de rupture correspondant à SV₁ et SV₂ (Cottin *et al.*, 2006; Buchheit *et al.*, 2007). En effet, il existe un lien étroit entre l'évolution des HF et l'influence mécanique de la respiration sur le cœur. En début d'exercice, le signal diminue progressivement avec le retrait de l'activité vagale, puis augmente en fin d'épreuve en raison de l'hyperventilation du sujet. (**Figure 12**). Initialement validées chez le sujet sain, ces méthodes ont été très récemment utilisées chez l'adulte atteint de pathologies cardiovasculaires (Mourot *et al.*, 2012) ou métaboliques (Sales *et al.*, 2011). À ce jour, seuls Brunetto *et al.* (2008) ont étudié l'intérêt de l'analyse temporelle de la VFC pour déterminer des seuils chez l'adolescent obèse. Cette étude n'a pas montré de différence significative entre les VO₂ à SV₁ et SVFC_T. Cependant, une faible corrélation a été retrouvée entre ces deux paramètres, montrant les limites de cette méthode. Par ailleurs, la méthode fréquentielle en temps variant n'a jamais été utilisée chez le jeune obèse, alors qu'elle semble efficace pour estimer les deux seuils ventilatoires.

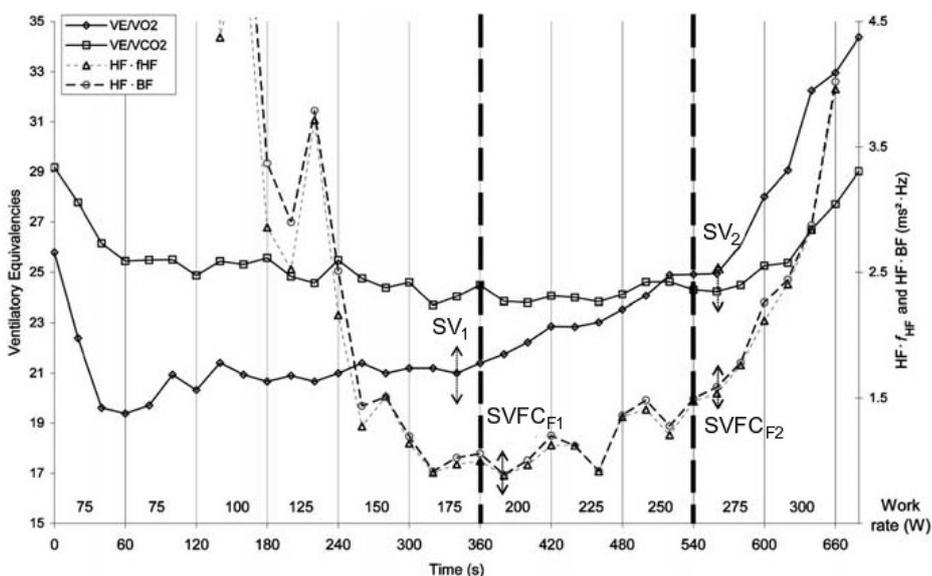


Figure 12 : Analyse fréquentielle de la VFC au cours d'un exercice incrémenté. Adaptée de Cottin *et al.* (2006).

3. PERCEPTION DE L'EFFORT

Les échelles de Perception de l'Effort (PE) apparaissent aujourd'hui comme des outils simples et non invasifs pour quantifier, surveiller et réguler l'intensité de l'exercice (Faulkner & Eston, 2008; Coquart *et al.*, 2010). Gunnar Borg est le premier auteur à valider, chez l'adulte sain, le "Rating of Perceived Exertion" (RPE 6-20) (Borg, 1970) et le "Category Ratio scale" (CR-10) (Borg, 1998) comme moyens de mesure psychophysiologique à l'exercice. Ces échelles permettent d'estimer la perception de l'effort au moyen de valeurs numériques et d'items déterminant différents niveaux d'effort perçu.

Chez les adultes obèses, Skinner *et al.* (1973) ont validé l'utilisation du RPE 6-20. Cependant, Hulens *et al.* (2003) ont montré que leur perception de l'effort est augmentée lors d'un exercice standardisé, comparée à celle des sujets sédentaires normo-pondérés, notamment par un sentiment de gêne (douleurs articulaires au niveau des hanches, des genoux ou des chevilles). Par ailleurs, chez des femmes en surpoids, Ekkekakis & Lind (2006) ont démontré qu'une vitesse de marche supérieure à 10% de celle auto-choisie, conduit à une diminution du plaisir et de la motivation intrinsèque à pratiquer une activité physique. Ainsi, les sujets adultes obèses semblent présenter des difficultés à percevoir, intégrer et retransmettre finement ses sensations causées par le stress d'un travail physique.

Chez les jeunes normo-pondéré, il est à noter que les réponses perceptives à l'effort sont différentes de celle des adultes. Elles sont associées au développement cognitif de l'enfant (Gros Lambert & Mahon, 2006). Williams *et al.* (1994) ont proposé chez l'enfant, le "Children's Effort Rating Table" (CERT) (**Figure 13**) qui associe des valeurs numériques de 0 à 10, des pictogrammes visuels et des expressions verbales exprimant la pénibilité de l'exercice. La mesure de la perception sur cette échelle au cours d'une épreuve d'effort maximale permet de fournir des informations sur l'état d'épuisement du sujet. Par exemple, un enfant cotant une valeur de 7 sur CERT est plus proche de l'épuisement que lorsqu'il cote une valeur de 5.

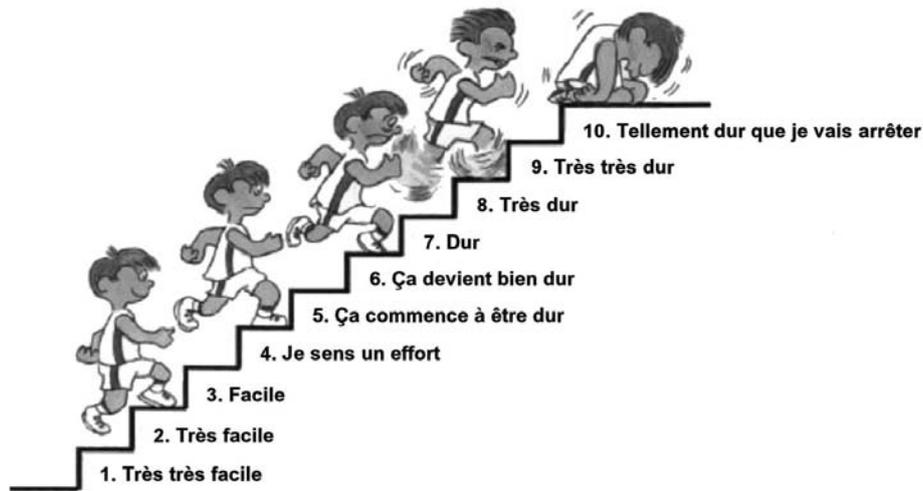


Figure 13 : Children's Effort Rating Table. Traduction française de Lazaar et al. (2004)

Par la suite, Robertson *et al.* (2000) ont développé chez l'enfant et l'adolescent normo-pondéré, le "Children's OMNI scale" (**Figure 14**) qui utilise quant à elle des expressions verbales exprimant différents niveaux de fatigue. Cette échelle, qui a été validée pour différentes modalités d'exercice comme la course à pied (Pfeiffer *et al.*, 2002), le cyclo-ergomètre (Robertson *et al.*, 2000), le step (Robertson *et al.*, 2005b), ou encore l'haltérophilie (Robertson *et al.*, 2005a), est corrélée à la consommation d'oxygène (VO_2) et la fréquence cardiaque (FC) (Roemmich *et al.*, 2006).

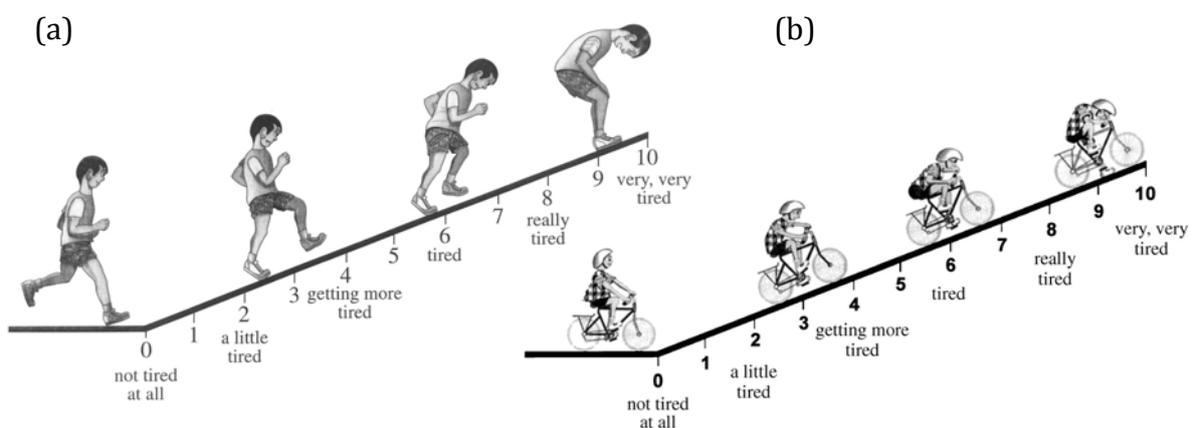


Figure 14 : Children's OMNI scale (a) walk/run (b) cycle.

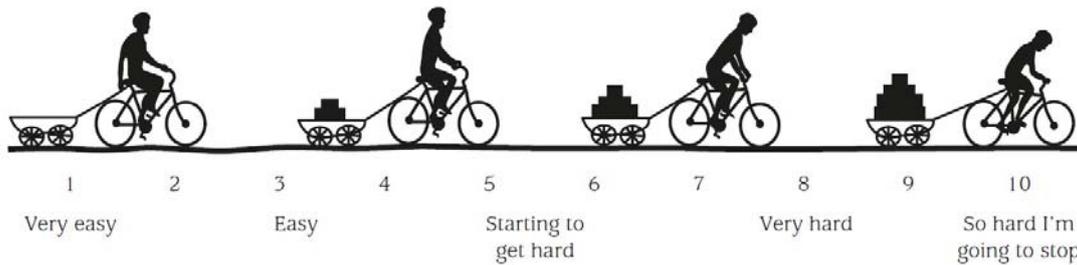


Figure 15 : Cart and Load Effort Rating.

Eston *et al.* (2000) et Parfitt *et al.* (2007) ont validé respectivement “Cart and Load Effort Rating” (Figure 15) et “Bug and Bag Effort” (Figure 16). Ces échelles de perception qui s’appuient aussi sur des niveaux de fatigue, sont accessibles à de plus jeunes enfants.

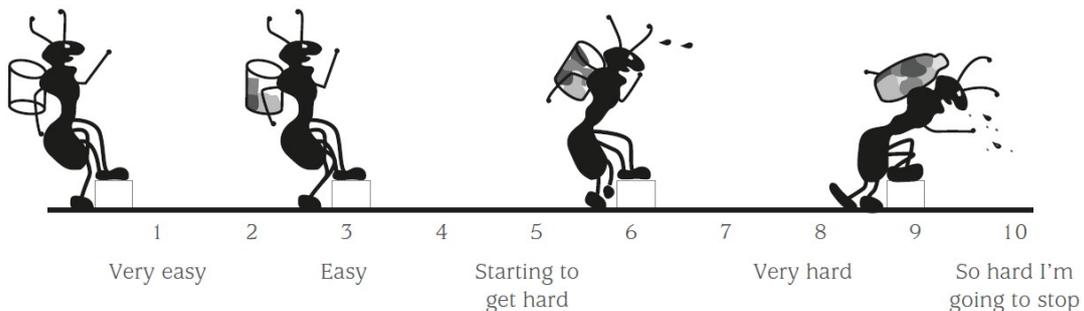


Figure 16 : Bug and Bag Effort.

Cependant, chez les jeunes obèses, le manque d’expérience physique influence les valeurs perceptives mesurées lors de deux exercices de même intensité relative (Belanger *et al.*, 2013). L’utilisation de ces échelles chez ces sujets, de surcroît sédentaires et ayant des difficultés à se mouvoir, peut induire un jugement de valeur négatif (notions de pénibilité et de fatigue) ne favorisant pas une image positive de l’activité physique. La notion d’essoufflement étant la principale plainte du jeune obèse lors d’activité physique, il semblerait plus approprié d’utiliser une échelle de perception de l’effort utilisant des items visuels centrés sur l’essoufflement et empruntant les items numériques et verbaux du CR10 centrés sur l’intensité de l’exercice, indépendamment de la sensation de fatigue perçue ou du niveau de pénibilité.

4. PROCEDURE DE DEVELOPPEMENT ET DE VALIDATION D'OUTILS CLINIQUES

Notre volonté de développer des outils pour l'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire a posé la question de la faisabilité afin qu'ils soient accessibles aux adolescents obèses sur le plan physiologique, biomécanique et cognitif. En ce sens, un outil d'évaluation doit être standardisé et avoir des conditions de passation rigoureusement identiques d'un sujet à un autre afin que les résultats puissent être comparés. Dans le but d'utiliser ces outils pour l'évaluation d'un plus grand nombre de jeunes obèses, il est nécessaire que leurs conditions de réalisation ne soient pas complexes et que le matériel utilisé ne soit pas onéreux.

La validation d'un outil clinique doit respecter trois propriétés métrologiques que sont : la validité, la fidélité et la sensibilité (Laveault & Grégoire, 2002; Bouvard, 2008). Dans le cadre d'un test d'aptitude de terrain ou d'un instrument de mesure tel que la variabilité de la fréquence cardiaque et les échelles de perception de l'effort, nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux qualités de :

→ **Spécificité (ou validité de critère)**

Un outil d'évaluation est spécifique s'il mesure réellement ce qu'il prétend mesurer. C'est l'exactitude de la mesure. Elle représente le degré de corrélation entre la mesure de l'outil et une mesure de référence (gold standard) qui est établi par un instrument de mesure indépendant reconnu.

→ **Reproductibilité (ou fidélité)**

Un outil d'évaluation est reproductible lorsque les résultats qu'il fournit sont constants et stables lors d'une procédure test – retest. Appliqué deux fois de suite dans un court laps de temps, sur un même sujet, il doit donner les mêmes valeurs et donc assurer la stabilité des résultats. Toutefois, il est à noter que les facteurs environnementaux sont beaucoup moins contrôlables au cours d'épreuves effectuées sur le terrain qu'ils ne le sont en laboratoire.

→ Sensibilité au changement

Un outil d'évaluation est sensible au changement lorsqu'il réagit aux plus légères variations qu'elles soient positives ou négatives. C'est la finesse discriminative. Par exemple, l'amélioration de l'endurance cardiorespiratoire observée chez un sujet au laboratoire après une phase d'entraînement est-elle perçue par le test de terrain ?

Les variables mesurées étant quantitatives, elles s'expriment sur le plan statistique sous la forme d'un coefficient de corrélation qui s'établit entre « 0,00 » pour l'absence de relation et « 1,00 » pour une corrélation parfaite. Par ailleurs, le calcul de l'intervalle de confiance du coefficient permet d'évaluer la précision de l'estimation du paramètre statistique sur l'échantillon. Pour la spécificité, il est suggéré d'utiliser les coefficients de corrélation usuels de Pearson, alors que les coefficients de corrélation intraclasse (ICC) sont privilégiés pour la reproductibilité (Fermanian, 2005).

Le principe de la concordance (Bland & Altman, 1986) est d'apprécier l'écart observé entre les deux mesures obtenues individuellement et d'en déduire, sur l'ensemble de la population observée, le biais, la déviation standard et les limites d'agrément qui permettent de statuer sur la concordance (accord ou désaccord) des deux séries de valeurs. Cette analyse s'utilise dans le cas d'une distribution normale de variables quantitatives de même unité.

Par exemple, la comparaison d'une méthode de mesure par rapport à une méthode de référence se traduit par une représentation graphique : un nuage de points où figure pour chaque sujet la différence de ses deux mesures en ordonnée $[A-B]$ et leur moyenne en abscisse $[(A+B)/2]$.

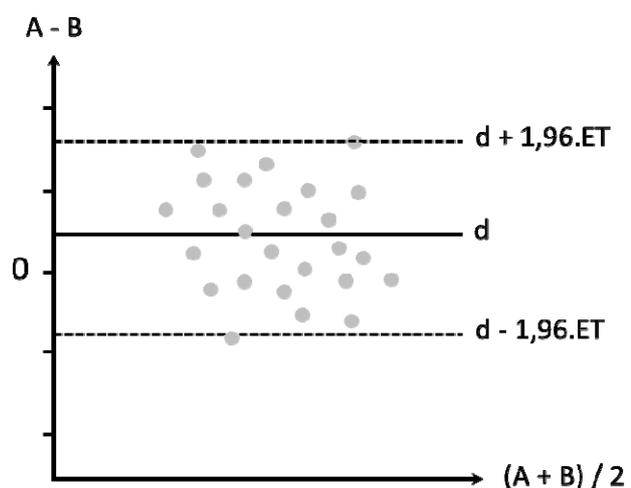


Figure 17 : Biais et limites d'agrément selon Bland & Altman (1986).

- On définit « le biais » comme la moyenne des différences [d]. Il représente la dérive systématique de la série de mesures par rapport au gold standard.
- On définit « la déviation standard » comme la variabilité de ces différences, soit l'écart type [ET]. Il traduit l'erreur potentielle moyenne de la méthode de mesure par rapport au gold standard.
- On définit « les limites d'agrément » par $d \pm 1,96 ET$. Elles sont représentées par deux droites horizontales et permettent d'observer la distribution des sujets à l'intérieur de ces bornes dans lesquelles sont comprises 95% des différences entre les mesures (**Figure 17**).

La méthode de concordance de Bland et Altman permet donc d'affiner les coefficients de corrélation en précisant s'il y avait accord ou désaccord entre la méthode de mesure utilisée et la méthode de référence. Plus le biais est proche de 0 et plus l'intervalle compris entre les limites d'agrément est faible, plus la méthode utilisée est spécifique. Néanmoins, il convient dans tous les cas de se replacer dans le contexte clinique et d'estimer si ces valeurs sont acceptables en pratique (Grenier *et al.*, 2000).

Enfin, dans le cadre des tests de terrain, si une mesure obtenue à partir d'un test est spécifique (corrélation élevée entre une performance observée et un paramètre physiologique tel que le $VO_2\max$), connaissant le résultat du test, il est permis d'extrapoler la variable évaluée (Cazorla & Leger, 1993). Les régressions linéaires multiples permettent alors d'élaborer des équations de prédiction du $VO_2\max$ à partir des observations de terrain et des variables individuelles telles que l'âge, le sexe ou encore la corpulence.

CONTRIBUTION PERSONNELLE

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Cette revue de la littérature montre que l'obésité est une véritable épidémie. L'évolution du mode de vie des sociétés industrialisées, associée à des mécanismes épigénétiques et un terrain génétique favorable sont responsables, sur le plan individuel, d'un déséquilibre de la balance énergétique. L'obésité et les maladies chroniques associées (e.g. diabète de type 2, maladies cardiovasculaires, cancer) sont devenues un problème majeur de santé publique en raison des surcoûts économiques qu'elles induisent : baisse de la qualité de vie, incapacité, handicap, morbidité et mortalité (Duclos *et al.*, 2010).

La mise en place de stratégies préventives et thérapeutiques (Waters *et al.*, 2011), parmi lesquelles l'augmentation du niveau d'activités physiques, retrouvée dans la plupart des recommandations internationales (Rodrigues *et al.*, 2013; Saavedra *et al.*, 2011) s'avère être une priorité. Cependant, la reprise des activités physiques quotidiennes et de loisir est souvent complexe chez le jeune obèse en raison d'une image de soi dévalorisée, de difficultés d'intégration et d'une faible condition physique. En effet, l'excès pondéral, associé à la sédentarité, altère progressivement la capacité cardiorespiratoire à l'exercice, freinant le retour à une pratique physique régulière et contribuant à la non-observance des prescriptions en activité physique.

Chez l'adolescent obèse, le dépistage d'une faible capacité cardiorespiratoire doit conduire à l'élaboration d'un programme de réentraînement personnalisé à des fins de santé (Edouard *et al.*, 2007). Selon qu'il soit d'intensité faible, modérée ou élevée, l'entraînement en aérobie améliore la composition corporelle, le profil métabolique (capacité à oxyder les lipides), l'aptitude aérobie et réduit les facteurs de risques cardiovasculaires. Les professionnels en activité physique impliqués sur le terrain doivent donc disposer d'outils d'évaluation valides qui évaluent l'endurance cardiorespiratoire et définissent des zones d'entraînement nécessaires à l'individualisation de tels programmes.

À la lumière de ces éléments, l'objectif de notre travail a été de développer et valider des outils cliniques explorant l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse, utiles à l'évaluation initiale et au suivi de sa condition physique.

Trois hypothèses de travail ont été émises :

- Les indices d'endurance cardiorespiratoire, obtenus à partir de 3 tests d'aptitude de terrain préalablement adaptés, sont valides, sensibles et prédictifs du VO_2 pic.
- Les méthodes d'analyse temporelle et fréquentielle de la variabilité de la fréquence cardiaque sont fiables pour explorer la capacité cardiorespiratoire sous-maximale et déterminer des seuils d'entraînement.
- La mesure subjective de l'effort à partir d'une échelle de perception : « Childhood Obesity Perceived Exertion Scale », est associée aux paramètres cardiorespiratoires lors d'un exercice incrémenté.

Ce travail permettra d'évaluer le retentissement fonctionnel de l'excès de poids, de développer des programmes d'entraînement personnalisés, et enfin de déterminer l'impact de ces programmes sur l'évolution du poids, des aptitudes physiques et plus globalement la qualité de vie des jeunes obèses.

MATERIELS & METHODES

1. SUJETS

- Critères d'inclusion :

Cette étude a été conduite chez des adolescents inscrits en septembre 2010 dans le service de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) pédiatrique « La Beline » de Salins les Bains (Jura) dans le cadre d'un séjour thérapeutique de 9 mois. Les adolescents présentaient une obésité, définie selon l'âge par un Indice de Masse Corporelle [IMC = poids/taille²] supérieur à l'IOTF-30 (Cole *et al.*, 2000) et une situation d'échec dans la prise en charge de leur surpoids en premier et second recours (HAS, 2011).

- Critères d'exclusion :

Les participants souffrant d'une pathologie de nature à contre-indiquer des exercices physiques d'intensité maximale, d'un diabète de type 2 ou d'une pathologie autre qu'une dyslipidémie n'ont pas participé à l'étude. De plus, les jeunes qui ont été exclus du SSR en cours d'année et qui n'ont pas terminé le programme n'ont pas été inclus dans l'étude.

Au final, 30 adolescents (20 filles, 10 garçons) obèses (IMC moyen $36,2 \pm 0,83 \text{ kg.m}^{-2}$; z-score d'IMC $4,37 \pm 0,11$) âgés de 12 - 17 ans (moyenne de $14,2 \pm 1,6$ ans) ont participé à l'étude. Avant leur entrée dans le service de SSR, chaque adolescent et parent ont reçu une explication détaillée du protocole et des objectifs de l'étude, à l'issue de laquelle un consentement éclairé a été signé en accord avec la déclaration d'Helsinki et les règles d'éthique locales.

2. PROGRAMME D'INTERVENTION

Le programme d'intervention de 9 mois, qui a pour objectif une diminution de la corpulence, est basé sur l'éducation thérapeutique du patient incluant une prise en charge psychologique, nutritionnelle et une reprise d'activités physiques. Les adolescents, qui sont hébergés dans l'établissement, ne rentrent dans leur famille que certains week-ends et sont scolarisés dans des établissements proches du SSR. L'accompagnement a pour objectif l'autonomie du jeune et de sa famille dans la mise en place de changements durables de leurs habitudes de vie (HAS, 2011). L'approche psychologique en groupe, à la fois cognitive et comportementale, permet le renforcement de l'estime de soi et de l'image du corps, le soutien de la motivation et la formulation positive d'objectifs, tout en traitant les psychopathologies en individuel si nécessaire. La diminution des apports énergétiques passe par une déculpabilisation autour des aliments, une remise en question des habitudes alimentaires en vue d'un retour progressif vers une alimentation équilibrée, soit un apport calorique quotidien total en fonction de l'âge et du sexe d'environ 2300-2500 kcal, selon les recommandations françaises (Martin, 2001). L'optimisation des dépenses énergétiques associe les séances d'activités physiques adaptées d'intensité modérée à élevée, les déplacements actifs et les séances d'EPS scolaire, afin de cumuler plus de 60 minutes d'activités physiques par jour. La prise en charge en activité physique adaptée permet dans un premier temps le reconditionnement à l'effort (entraînement à des intensités cibles sur différents ergomètres, natation, marche à pied), le contrôle respiratoire (renforcement musculaire de la ceinture abdominale, relaxation) et le développement de la proprioception (exercices de coordination, d'équilibre et d'étirement) en milieu aquatique et terrestre. Dans un second temps, différentes activités sportives telles que badminton, judo, boxe, ski, VTT, tir à l'arc, escalade, tennis, athlétisme,... visant l'amélioration du bien-être physique et psychique sont progressivement introduites. Et enfin, pour renforcer l'autonomie et la motivation, les jeunes choisissent eux-mêmes les séances auxquelles ils souhaitent participer en fin de programme.

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Chaque sujet a réalisé dans les mêmes conditions expérimentales en début (T0) et après 9 mois de prise en charge (T1), des mesures anthropométriques, une épreuve d'effort maximale ainsi que trois tests d'aptitude de terrain.

3.1. Mesures anthropométriques

Le poids corporel a été mesuré avec une précision de 0,1 kg à l'aide d'une balance numérique. L'IMC a été calculé et afin d'uniformiser les valeurs obtenues, le z-score d'IMC a été calculé (CALIMCO2, PNNS, France) pour l'âge et le sexe. L'obésité abdominale a été calculée par le rapport du tour de taille divisé par la taille (Mokha *et al.*, 2010).

3.2. Épreuve d'effort maximale

Une épreuve d'effort d'aptitude à charge croissante sur ergocycle (Ergoselect 200K, Ergoline GmbH, 124 Bitz, Germany) jusqu'à épuisement avec mesure en continu de la fréquence cardiaque (FC), de la ventilation (VE) et des échanges gazeux (VO_2 , VCO_2) en cycle à cycle (Ergocard® Medisoft Schiller, Sorinnes, Belgique) a été réalisée. La charge initiale et l'incrémentation était de 10 watts pour les filles et 15 watts pour les garçons. Les paliers avaient une durée de 3 minutes jusqu'au croisement des courbes VO_2 - VCO_2 puis de 1 minute jusqu'à l'épuisement du sujet pour une estimation plus précise de la consommation pic d'oxygène (VO_2 pic) et de la puissance maximale tolérée (P_{max}). L'exercice a été considéré comme étant à un niveau maximum si au moins deux sur trois des critères suivants ont été remplis : 1) $FC > 90\%$ de la FC_{max} théorique [$FC_{maxTh} = 206,9 - (0,67 \times \text{âge})$] (ACSM, 2009) ; 2) Quotient Respiratoire : $QR > 1,1$; 3) Incapacité pour les patients de maintenir une fréquence de pédalage supérieure à $60 \text{ rotation} \cdot \text{min}^{-1}$ malgré les encouragements des expérimentateurs.

4. TESTS D'APTITUDE DE TERRAIN

Trois tests d'aptitude de terrain adaptés, permettant de déterminer des indices d'endurance cardiorespiratoire, ont été proposés une semaine avant ou après l'épreuve maximale en laboratoire. Après une période d'apprentissage, ils ont été réalisés dans le même ordre, séparés de deux à trois jours de récupération. La FC a été enregistrée en continu par un système de télémétrie Polar (Polar® s625x ou Polar® team², Kempele, Finland).

4.1. Test de Marche/Course en 12min (TMC-12)

Inspiré du test Cooper (1968), ce test est réalisé sur une piste d'athlétisme de 200m. L'adolescent doit parcourir la plus grande distance en 12 minutes sur terrain plat, en adaptant l'allure de marche ou de course en fonction de son niveau d'essoufflement. Soit 6 sur le COPE-10 (*cf. Matériels & Méthodes - 6.1. présentation du COPE-10*). La participation du patient dans l'exercice pouvant être variable, un feedback de FC permet d'encourager chaque adolescent à maintenir un effort continu et optimal. Cet exercice permet de déterminer une distance maximale parcourue en 12 minutes (D12). Les tests de marche en « temps limité » s'appuient sur la corrélation qu'il existe entre la distance parcourue en un temps donné et la consommation d'oxygène.

4.2. Test de Marche/course Navette Adaptée sur 20m (TMNA-20)

Ce test en navette correspond au "20m Multistage Shuttle run Test" (20MST) (Leger *et al.*, 1988) auquel 10 paliers ont été préalablement ajoutés, afin de réduire l'allure de course tout au long de l'épreuve. Il consiste à faire des allers-retours entre deux lignes parallèles distantes de 20m au rythme d'une bande audio calibrée. Le patient réalise une marche progressivement accélérée (départ : 4 km.h⁻¹ ; incrémentation : 0,5 km.h⁻¹.min⁻¹) ; à la dixième minute, le rythme audio rejoint le protocole du 20MST à 8,5 km.h⁻¹ et se poursuit jusqu'à la fin du test. Le test est arrêté par le patient lui-même lorsque la vitesse lui semble trop élevée, ou par l'expérimentateur lorsque le sujet ne parvient plus à réaliser deux navettes consécutives dans le temps imparti (plus de 2 m de retard sur la ligne lorsque le bip retentit).

Ce dernier palier permet de déterminer la Vitesse Maximale atteinte (Vmax). Les tests de marche « progressivement accélérée » permettent d'apprécier la performance physique d'un patient en s'appuyant sur la corrélation qu'il existe entre la Vmax et le VO₂ pic.

4.3. Test Sous-Maximal sur Cycloergomètre en 4 paliers (TSMC)

Ce test est exécuté sur une bicyclette ergométrique fixe (Physio 4260, Tech Med, France). L'adolescent pédale sans interruption pendant une durée de 12 minutes, durant lesquelles la charge de travail est augmentée 3 fois (à la 3^{ème}, 6^{ème} et 9^{ème} minute), ce qui équivaut à 4 charges au total. La charge initiale est fixée arbitrairement à 30 watts (W) pour les filles, 40 W pour les garçons. L'incrémentation des 3 paliers suivant est de 10, 20, 30 ou 40 W en fonction de l'adaptation cardiaque au palier précédent : FC stable à la dernière minute de chaque palier, charges réglées de façon à ce que la FC approche 70% de la FC de réserve (FCmaxTh – FC repos) à la fin du test. Largement diffusée, cette méthode indirecte pour estimer le VO₂ pic s'appuie sur les relations existantes entre la FC, la puissance d'exercice et la consommation d'oxygène (ACSM, 2009). La FC étant reliée de façon linéaire à la puissance développée, la Puissance Maximale Aérobie (PMA) est déterminée par extrapolation à partir des valeurs d'une part de la FC observée à la fin de chaque palier et d'autre part de la FCmaxTh.

4.4. Analyse statistique

Pour chaque patient le VO₂ pic pour chaque test de terrain a été estimé selon :

→ L'équation de Cooper (1968) pour le TMC-12 : $VO_2 \text{ pic} = (0,022 \times D12) - 10,39$

→ L'équation de Leger *et al.* (1988) pour le TMNA-20 :

$$VO_2 \text{ pic} = 31,025 + (3,238 \times Vmax) - (3,248 \times Age) + (0,1536 \times Vmax \times Age)$$

→ L'équation de l'ACSM (2009) pour le TSMC : $VO_2 \text{ pic} = ((PMA / Poids) \times 10,8) + 7$

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel R (v2.14 R-fondation, Vienne, Autriche) et le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. Les données sont présentées par la moyenne \pm SEM. La distribution gaussienne des données a été vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Un test de

Student (Test t) apparié a été utilisé pour analyser l'évolution des paramètres observés à l'issue de la prise en charge. Des tests de corrélation entre les indices aérobies de terrain et les variables de laboratoire ont été calculés par les coefficients de corrélation de Pearson. Les accords entre les VO_2 pic estimés sur terrain et les VO_2 pic mesurés au laboratoire ont été évalués par les coefficients de corrélation intraclasse, la méthode de concordance décrite par Bland & Altman (2012) et le calcul de la différence minimale détectable (Beckerman *et al.*, 2001). Les équations de prédiction du VO_2 pic ont été calculées par des régressions linéaires multiples.

5. VARIABILITE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

Au cours de l'épreuve d'effort maximale, la mesure des échanges gazeux a permis de déterminer les seuils ventilatoires. La VFC a été enregistrée en continu grâce à un cardiofréquencemètre s810 (Polar®, Kempele, Finland) (Kingsley *et al.*, 2005). La durée des paliers (3 min jusqu'à QR = 1 puis 1 min) a été choisie pour obtenir une plus grande stabilité des intervalles R-R (Karapetian *et al.*, 2008). Les données de VFC ont été filtrées (Polar® Pro Trainer, Kempele, Finland) puis traitées (Kubios HRV Analysis v2.0, Kuopio, Finland) pour déterminer des seuils de VFC selon deux méthodes distinctes.

5.1. Détermination des seuils ventilatoires

Les seuils ventilatoires ont été déterminés à partir de la méthode de référence (Wasserman *et al.*, 2011) par les équivalents respiratoires en O₂ (VE/VO₂) et CO₂ (VE/VCO₂) moyennés toutes les 15 secondes. L'évolution des rapports VE/VO₂ et VE/VCO₂ lors de l'exercice incrémenté permettent de définir 2 seuils : SV₁ qui correspond à la première augmentation de la courbe VE/VO₂ sans augmentation de la courbe VE/VCO₂ et SV₂ qui correspond à la première augmentation de VE/VCO₂ concomitante à une seconde augmentation du VE/VO₂ (**Figure 18**).

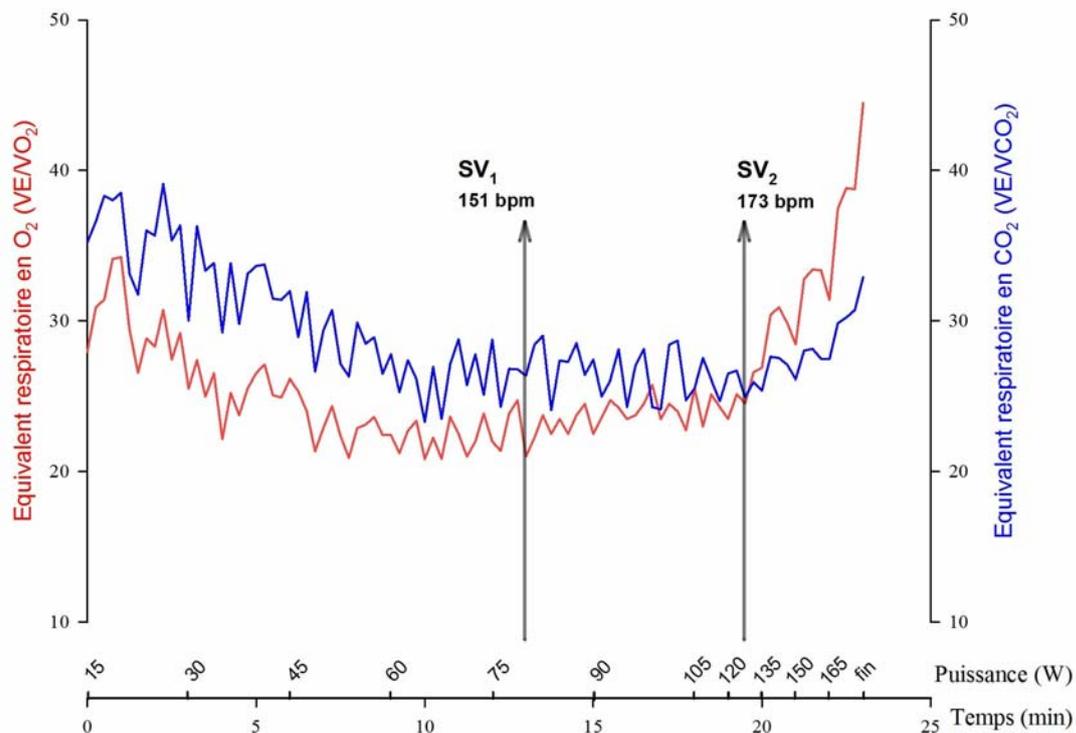


Figure 18 : Détermination visuelle des seuils ventilatoires (SV₁, SV₂) et les FC correspondantes.

5.2. Détermination du seuil de VFC dans le domaine temporel (SVFC_T)

L'analyse dans le domaine temporel a été réalisée en regroupant les séries d'intervalle R-R des 60 dernières secondes de chaque palier. La racine carrée de la moyenne des différences des R-R successifs élevées au carré (rMSSD) a été calculée pour chaque série. L'évolution de rMSSD, en fonction de la puissance de travail, décrit une courbe descendante jusqu'à un point de stabilisation (SVFC_T) indiquant le retrait de l'activité vagale. En accord avec Karapetian *et al.* (2008), le SVFC_T a été déterminé visuellement à partir du point où il n'y avait plus de nouvelle baisse de rMSSD entre deux paliers consécutifs (Figure 19).

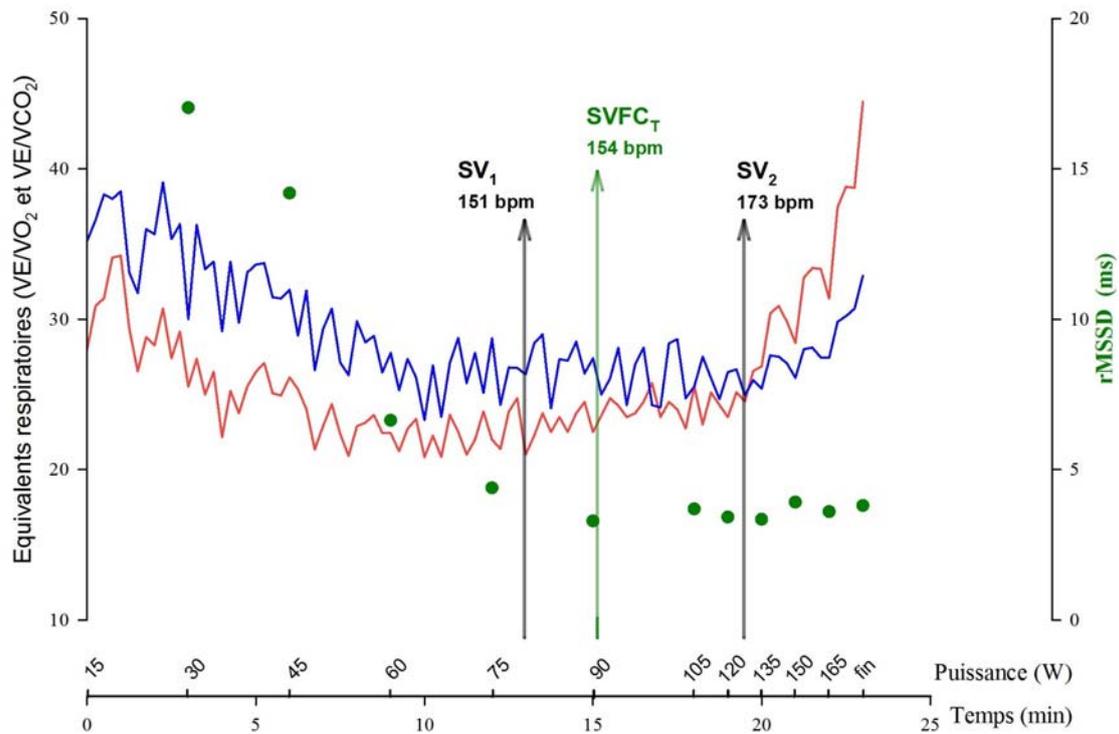


Figure 19 : Détermination visuelle du seuil de VFC dans le domaine temporel et de la FC correspondante.

5.3. Détermination des seuils de VFC dans le domaine fréquentiel (SVFC_{F1} et SVFC_{F2})

L'analyse fréquentielle en temps variant a été réalisée par des transformées de Fourier en fenêtre glissante de 64 secondes, toutes les 3 secondes. La gamme des Hautes Fréquences (HF) a été étendue de 0,15 à 1,8Hz pour une évaluation plus juste de l'arythmie sinusale respiratoire lors des fréquences respiratoires élevées (Cottin *et al.*, 2006). Les pics des HF ont été modélisés par une équation de 3^{ème} ordre (f_{HFm}) (SigmaPlot 12, Systat Software Inc, Chicago) afin d'éliminer les artéfacts (Buchheit *et al.*, 2007). L'évolution de la densité spectrale des hautes fréquences, au cours de l'exercice incrémenté, a été obtenue par le produit de la modélisation f_{HFm} et de la puissance des HF ($f_{HFm} \cdot HF_p$). Une transformation logarithmique a permis d'augmenter la sensibilité au changement instantané ($\ln(f_{HFm} \cdot HF_p)$). En accord avec Buchheit *et al.* (2007), SVFC_{F1} et SVFC_{F2} ont été déterminés visuellement à partir de la courbe $\ln(f_{HFm} \cdot HF_p)$ en fonction du temps. SVFC_{F1} correspond à la stabilisation de $\ln(f_{HFm} \cdot HF_p)$ après avoir atteint un minimum et SVFC_{F2} à la dernière forte augmentation de $\ln(f_{HFm} \cdot HF_p)$) (Figure 20).

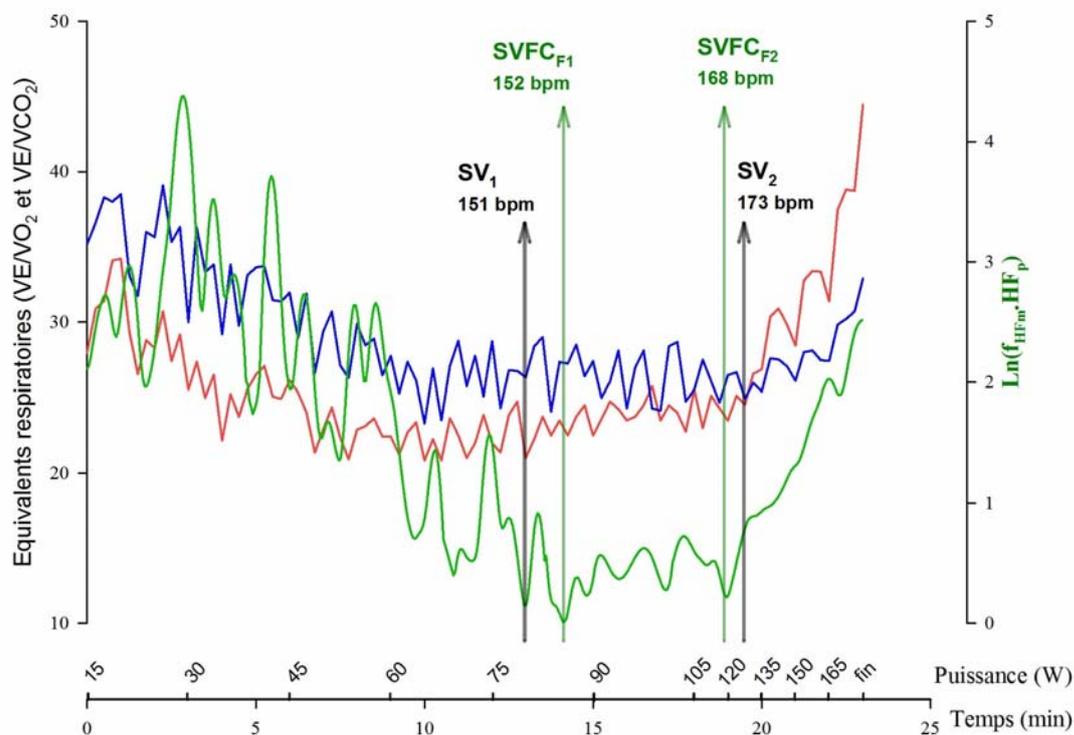


Figure 20 : Détermination visuelle des seuils de VFC dans le domaine fréquentiel et les FC correspondantes.

5.4. Analyse statistique

Sur la base de ces critères, deux expérimentateurs ont déterminé de manière indépendante les différents seuils (SV_1 , SV_2 , $SVFC_T$, $SVFC_{F1}$ et $SVFC_{F2}$). Quand il y avait un désaccord, un troisième expérimentateur a été désigné pour arbitrer.

Pour chaque seuil, les fréquences cardiaques (FC_{SV1} , FC_{SV2} , FC_T , FC_{F1} et FC_{F2}) et les puissances (P_{SV1} , P_{SV2} , P_T , P_{F1} et P_{F2}) ont été relevées.

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SigmaPlot 12 (Systat Software Inc, Chicago) et le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$. Les données sont présentées par la moyenne \pm SEM. La distribution gaussienne des données a été vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Un test de Student apparié a été utilisé pour analyser l'impact de la prise en charge et les différences ont été exprimées en pourcentage d'amélioration. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés : FC_{SV1} a été corrélée à FC_T et FC_{F1} , FC_{SV2} à FC_T et FC_{F2} respectivement ; P_{SV1} a été corrélée à P_T et P_{F1} , P_{SV2} à P_T et P_{F2} respectivement. La méthode de Bland & Altman (2012) a été utilisée pour comparer les différentes méthodes d'estimation de la FC au seuil ventilatoire afin d'évaluer s'il y avait accord ou biais.

6. PERCEPTION DE L'EFFORT

Au cours de l'épreuve d'effort maximale, la perception de l'effort a été mesurée à la fin de chaque palier, par le sujet lui-même, grâce à une échelle de perception : COPE-10, préalablement installée sur le guidon de l'ergocycle. La PE a été aussi évaluée lors du TSMC réalisé une semaine avant ou après l'épreuve en laboratoire (cf. *Matériels & Méthodes - 4.3. Test Sous-Maximal sur Cycloergomètre*).

6.1. Présentation du " Childhood Obesity Perceived Exertion scale" COPE-10

Le COPE-10, présenté sur la **figure 21**, est une adaptation de l'échelle CR-10 de Borg (1998) qui permet d'évaluer l'effort perçu sur une échelle graduée de « 0 » (aucun effort perçu) à « 10 » (effort le plus intense déjà perçu). Cinq pictogrammes visuels en couleur (représentant un enfant lors d'un exercice physique de plus de plus en plus intense), associés à des expressions verbales exclusivement basées sur la perception de l'effort, permettent au jeune en surpoids de quantifier précisément l'intensité de l'exercice. Afin de ne pas stigmatiser les jeunes, les pictogrammes visuels du COPE-10 présentent volontairement un jeune normo-pondéré qui exprime son ressenti à l'exercice par sa posture et des symptômes externes (essoufflement, sudation, expression du regard...) et ce, à différents niveaux d'effort perçu.

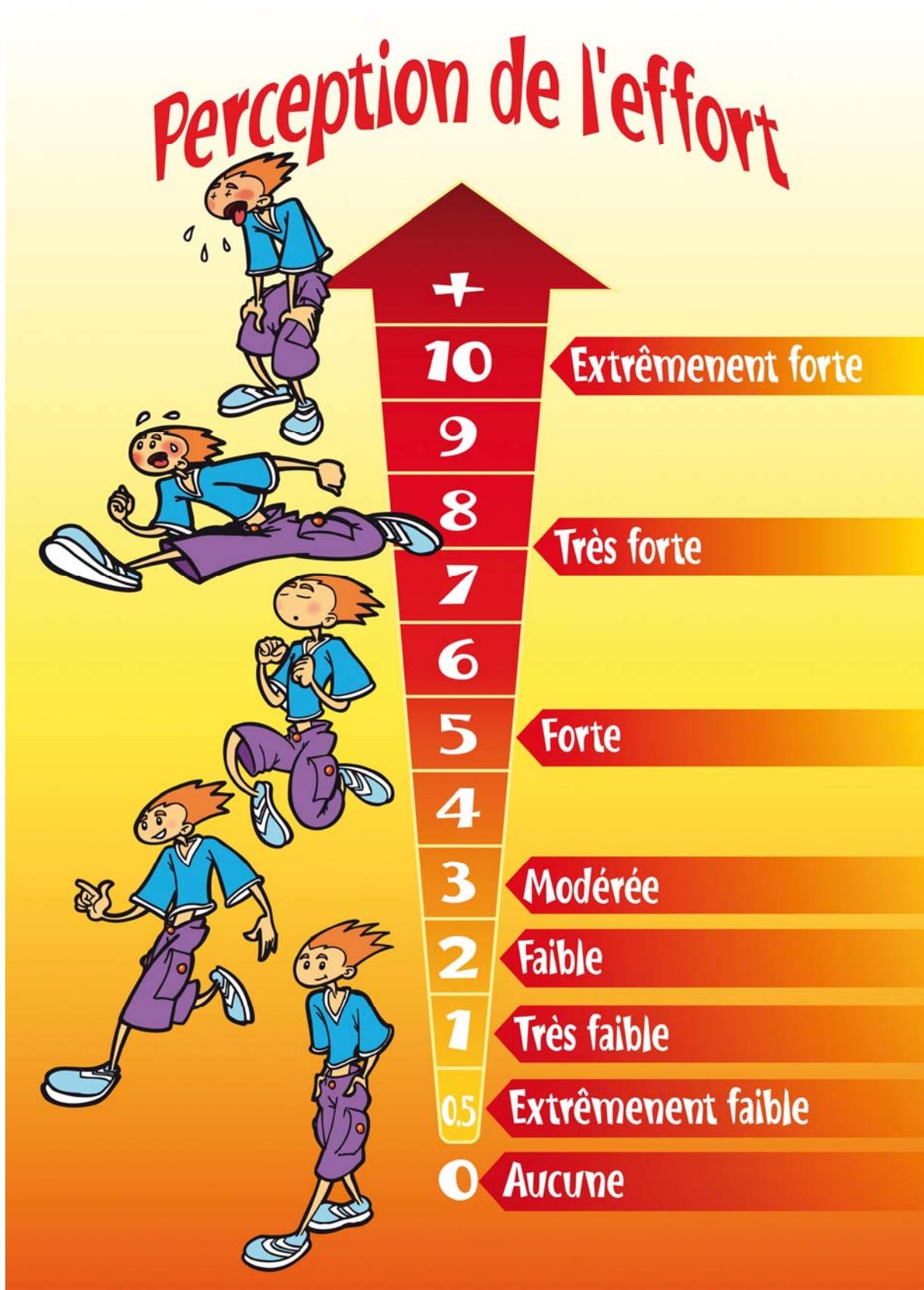


Figure 21 : Childhood Obesity Perceived Exertion Scale (COPE-10).

Instructions générales pour l'utilisation du COPE-10

Chaque sujet a reçu les instructions suivantes :

« En parallèle de l'épreuve d'effort, nous souhaitons que tu mesures ta propre perception de l'exercice, c'est-à-dire comment tu ressens l'intensité de l'exercice, pour chaque palier. Comme tu peux le voir, la graduation de l'échelle va de « 0 : Aucune » qui correspond à aucune perception d'effort, à « 10 : Extrêmement forte », qui correspond à la perception d'effort la plus intense que tu aies ressentie dans ta vie. « + », est une graduation pour qualifier un effort supérieur à ce que tu as déjà réalisé »

Les 3 questions suivantes permettent à l'expérimentateur d'aider l'enfant à interpréter le principe de l'échelle et d'en vérifier la compréhension :

« Quel serait pour toi l'exercice physique le plus intense que tu aies réalisé dans ta vie ? Sur quelles perceptions vas-tu t'appuyer durant l'épreuve pour me donner une note de 0 à 10 ? Quelle note donnerais-tu à cet instant (au repos) ? »

En réutilisant les expressions verbales de l'enfant, l'expérimentateur précise : « La perception de l'exercice dépend en général de ton essoufflement et des tensions musculaires que tu peux ressentir :

1 : c'est très léger, comme marcher lentement à ton propre rythme

3 : c'est un exercice modéré, tout va bien

6 : c'est intense et tu commences à être essoufflé

9 : c'est très intense mais tu peux encore continuer

10 : c'est l'exercice physique le plus intense que tu as connu au cours de ta vie

Essaye d'évaluer tes sensations de la manière la plus honnête possible. Il n'y a pas de bonne ni de mauvaise réponse, car nous nous intéressons à tes perceptions quant à la charge de travail imposée et à l'effort que tu fournis. Évite de sous-estimer ou de surestimer l'effort que tu es en train de faire.

Durant l'épreuve tu ne pourras pas nous parler, étant donné que tu auras un masque sur le visage.

Pour nous indiquer où tu te situes sur l'échelle, tu pointeras ton doigt sur l'échelle graduée placée en face de toi. Tu pourras donner des chiffres entiers ou des valeurs intermédiaires, par exemple : 0,5 ; 2 ; 3,5 ; 4 ; 7,5... »

6.2. Spécificité du COPE-10

Afin d'uniformiser les charges de travail au cours de l'épreuve d'effort maximale, la perception de l'effort et les variables physiologiques (FC, VE et VO₂) ont été modélisées respectivement par une équation de 3^{ème} ordre (f_{PE} , f_{FC} , f_{VE} , f_{VO_2}) (**Figure 22 et Tableau 5**).

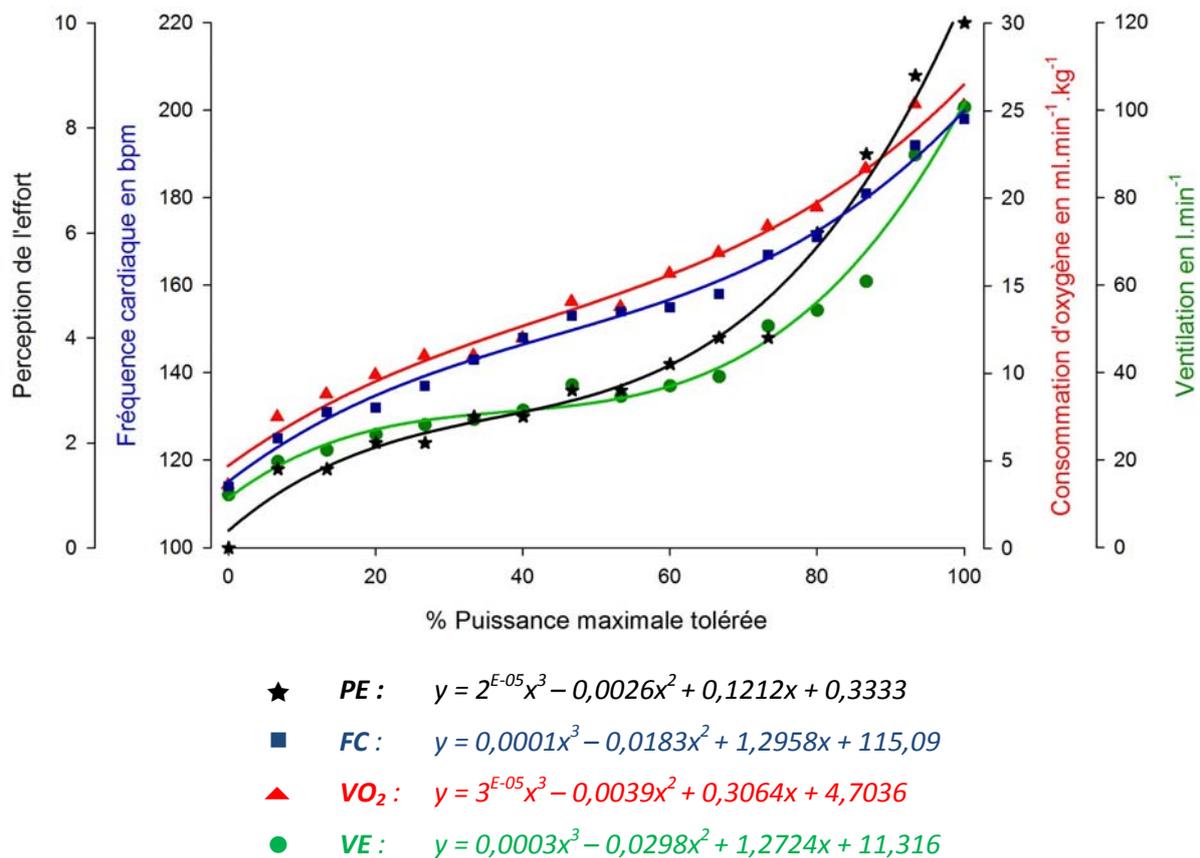


Figure 22 : Modélisation de la perception de l'effort, la fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène et la ventilation en fonction de la charge de travail (exprimée en pourcentage de la P_{max}) pour un sujet.

Tableau 5 : Interpolation de la PE, FC, VO₂ et VE en fonction de la charge de travail (exprimée en pourcentage de la P_{max}) pour un sujet.

	% Puissance maximale										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PE	0,0	1,3	1,9	2,3	2,6	2,9	3,5	4,4	5,7	7,7	10,5
FC	115	126	135	141	146	151	157	163	172	184	200
VO ₂	4,7	7,4	9,5	11,2	12,7	14,1	15,6	17,4	19,7	22,7	26,5
VE	11,3	21,3	26,9	29,7	31,3	33,1	36,9	44,0	56,2	74,9	101,7

6.3. Reproductibilité du COPE-10

Le TSMC (cf. *Matériels & Méthodes - 4.3. Test Sous-Maximal sur Cycloergomètre*) réalisé dans la semaine consécutive à l'épreuve d'effort a permis le recueil de 4 valeurs perceptives, respectivement à la fin des 4 paliers sous-maximaux. Pour chaque sujet, afin de comparer les valeurs de perception de l'effort observées lors du test sous-maximal, des valeurs perceptives ont été calculées à partir de la modélisation f_{PE} pour chaque charge de travail.

6.4. Sensibilité du COPE-10

La perception de l'effort est sensible aux adaptations cardiovasculaires et respiratoires consécutives à un programme d'entraînement, et ce à un niveau de perception d'effort (Coquart *et al.*, 2009) ou à une réponse ventilatoire donnée (Noble & Robertson, 1996). Dans la présente étude, à l'issue du programme d'intervention, la sensibilité du COPE-10 a été évaluée à un niveau de perception donné (valeur perceptive à « 6 » sur l'échelle) et à une réponse ventilatoire donnée (SV_2) pour la fréquence cardiaque, la puissance de travail, la consommation d'oxygène et la ventilation. En effet, la valeur « 6 » a été choisie en référence aux travaux de Monnier-Benoit *et al.* (2009) qui ont montré qu'elle était significativement corrélée avec le SV_2 .

6.5. Analyse statistique

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SigmaPlot 12 (Systat Software Inc, Chicago) et le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$. La distribution gaussienne des données a été vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Un test de Spearman a été utilisé pour observer les corrélations entre f_{PE} et f_{FC} , f_{VE} , f_{VO_2} et des régressions linéaires ont été réalisées, en pré- et en post-cure.

Les coefficients de corrélation intraclasse ont été calculés entre les valeurs perceptives déterminées par le sujet lors du test sous-maximal et celles estimées à partir de f_{PE} pour des charges de travail similaires lors du test maximal.

L'impact de la prise en charge a été évalué par un test de Student apparié. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés respectivement entre FC, puissance de travail, VE et VO₂ associée au SV₂ et à PE₆ ($f_{PE}=6$). La méthode de Bland & Altman (2012) a été utilisée pour comparer ces mêmes variables à PE₆ et au SV₂ afin d'évaluer s'il y avait accord ou biais.

RESULTATS

Nos principaux résultats sont rapportés dans les publications n°4, 5 et 6.

- PUBLICATION N°4 -

EVALUATION OF CARDIORESPIRATORY FITNESS USING THREE FIELD TESTS IN OBESE ADOLESCENTS: VALIDITY, SENSITIVITY AND PREDICTION OF PEAK VO₂

ÉVALUATION DE L'ENDURANCE CARDIORESPIRATOIRE A PARTIR DE TROIS TESTS DE TERRAIN CHEZ L'ADOLESCENT OBESE : VALIDITE, SENSIBILITE ET PREDICTION DU VO₂ PIC

Sylvain Quinart, Fabienne Mougin, Marie-Laure Simon-Rigaud, Marie Nicolet-Guénat, Véronique Nègre, Jacques Regnard.

Publié dans *J Sci Med Sport - Sous presse*.

DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.010>

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale aux :

XVI^{ème} Journée de l'Association Francophone en Activité Physique Adaptée – Orsay - Université Paris Sud – 29 au 31 mars 2012

QUINART S, MOUGIN F, SIMON-RIGAUD ML, NICOLET M, NEGRE V, REGNARD J. Adaptation de tests de terrain pour l'évaluation et le suivi de l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse. Comparaison aux données de laboratoire.

XVIII^{ème} Forum des Jeunes Chercheurs du PRES Bourgogne/Franche-Comté – Besançon – 6 et 7 septembre 2012

QUINART S, MOUGIN F, NICOLET-GUENAT M, SIMON-RIGAUD ML, BERTRAND AM, REGNARD J. Évaluation de l'endurance cardiorespiratoire de l'adolescent obèse : Validation d'un Test de Marche Navette Adapté.

Résumé

L'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire de l'adolescent obèse est nécessaire pour personnaliser les programmes de réentraînement à l'effort. L'objectif de ce travail a été d'évaluer chez l'adolescent obèse, avant et après une prise en charge pluridisciplinaire de 9 mois, la capacité aérobie à partir de trois tests de terrain adaptés et d'en vérifier leur fiabilité par comparaison aux valeurs de la consommation maximale d'oxygène et de la puissance maximale mesurées lors d'une épreuve d'effort en laboratoire.

Un Test de Marche/Course en 12 minutes (TMC-12), un Test de Marche/course Navette sur 20m (départ: 4 km.h^{-1} , incrémentation: $0,5 \text{ km.h}^{-1}.\text{min}^{-1}$) (TMNA-20) et un Test Sous-Maximal sur Cycloergomètre en 4 paliers (TSMC) ont permis de déterminer respectivement une distance parcourue en 12 minutes (D12), une Vitesse maximale (V_{max}) et une Puissance Maximale Aérobie (PMA).

Trente adolescents obèses ($\text{IMC} = 36,2 \pm 4,6 \text{ kg.m}^{-2}$) âgés de $14,2 \pm 1,6$ ans ont été inclus. La prise en charge s'est accompagnée d'une baisse significative de l'IMC, une augmentation du $\text{VO}_2 \text{ pic}$ et des indices d'endurance cardiorespiratoire de terrain. Des corrélations significatives ont été retrouvées en pré- et post-cure entre $\text{VO}_2 \text{ pic}$ et D12 ($r = 0,70$; $r = 0,82$), V_{max} ($r = 0,80$; $r = 0,83$) et PMA ($r = 0,71$; $r = 0,84$) respectivement, attestant la validité et la sensibilité de ces 3 tests. L'analyse de régression linéaire multiple a permis de prédire le $\text{VO}_2 \text{ pic}$ à partir des indices du TMC-12, TMNA-20 et TSMC selon des équations spécifiques au public obèse.

Ces tests de terrain peuvent être utilisés pour l'évaluation et le suivi de l'endurance cardiorespiratoire du jeune obèse. Des équations incluant l'IMC représentent un outil intéressant en pratique clinique pour prédire le $\text{VO}_2 \text{ pic}$ de cette population.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Science and Medicine in Sport

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsams



Original research

Evaluation of cardiorespiratory fitness using three field tests in obese adolescents: Validity, sensitivity and prediction of peak $\dot{V}O_2$

Sylvain Quinart^{a,e,*}, Fabienne Mougin^{a,b}, Marie-Laure Simon-Rigaud^c,
Marie Nicolet-Guénat^d, Véronique Nègre^e, Jacques Regnard^{a,c}

^a Laboratory of Prognostic Marker and Regulatory Factor of Cardiovascular Disease, IFR 133, University of Franche-Comte, France

^b Sport Science University, University of Franche-Comte, France

^c Physiology Functional Explorations, University Hospital of Besançon, France

^d Childhood Obesity Rehabilitation Centre "La Beline" of Salins les Bains, France

^e Pediatric Obesity Prevention and Rehabilitation Department, University Hospital of Besançon, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 September 2012

Received in revised form 25 June 2013

Accepted 10 July 2013

Available online xxx

Keywords:

Obesity

Child

Body mass index

Physical fitness

Aptitude test

Oxygen consumption

ABSTRACT

Objectives: Evaluation of cardiorespiratory fitness in obese adolescents is necessary to develop personalised retraining programmes. We aimed to measure cardiorespiratory fitness using 3 field tests, and to evaluate their validity and sensitivity compared to values obtained by laboratory tests.

Design: Longitudinal interventional study in obese adolescents admitted to a rehabilitation centre for a 9-month programme of obesity management.

Methods: A 12-min walk/run test, an adapted 20 m shuttle walk-run test (starting speed 4 km h^{-1} , increments of $0.5 \text{ km h}^{-1} \text{ min}^{-1}$) and a 4-level submaximal cycle ergometer test were performed to estimate respectively distance covered in 12 min, maximum speed and maximal aerobic power.

Results: Thirty adolescents aged 14.2 ± 1.6 years were included. After 9 months intervention, we observed a significant reduction in body mass index, and an increase in peak $\dot{V}O_2$ and field test results. We observed significant correlations between pre- and post-intervention values of peak $\dot{V}O_2$ and distance covered in 12 min ($r=0.70$ pre; $r=0.82$ post), maximum speed ($r=0.80$ pre; $r=0.83$ post) and maximal aerobic power ($r=0.71$ pre; $r=0.84$ post). Multiple linear regression made it possible to estimate peak $\dot{V}O_2$ based on results from the 3 field tests using prediction equations specific to a population of obese adolescents.

Conclusions: These field tests, including the adapted 20 m shuttle walk-run test, adequately assess cardiorespiratory fitness in obese adolescents, and are sensitive to changes over time. Predictive equations including BMI are useful in clinical practice to predict peak $\dot{V}O_2$ in these patients.

© 2013 Sports Medicine Australia. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Paediatric obesity and associated diseases are a major public health challenge,^{1,2} and justify implementation of preventive and therapeutic measures.³ Increasing the level of physical activity is the mainstay of most recommendations.^{4,5} However, resuming daily exercise for leisure can be problematic for obese adolescents, because of low self-esteem, difficulty with social integration and poor overall fitness. Indeed, overweight associated with a sedentary lifestyle progressively alters cardiorespiratory capacity during exercise, making it difficult to resume regular physical activity, and contributing to non-compliance with prescribed exercise regimens.⁶

Management of obesity in young patients requires evaluation of physical aptitude with a view to developing personalised retraining programmes. Aptitude tests are generally based on exercise testing performed in laboratory situations, and are not always widely available due to the need for advanced equipment and trained staff, often associated with high cost.

While exercise testing remains the gold standard, several field tests have been developed to evaluate cardiorespiratory fitness in children. These tests are inexpensive, easy to implement and reproducible.⁷ Initially proposed for normal weight children to assess cardiorespiratory fitness and maximum oxygen consumption (peak $\dot{V}O_2$), these tests are, however, ill adapted to obese adolescents. Several authors have underlined the need to modify reference tests to render them more accessible and to ensure they adequately explore aerobic capacity in obese patients.^{8–10} Indeed, excess workload or excessive speed can cause exercise to be prematurely interrupted, or jeopardise the patient's health, and consequently under- or over-estimate physical aptitude.

* Corresponding author.

E-mail address: s.quinart@free.fr (S. Quinart).

Three types of tests are currently used in the management of obesity, namely walking distance covered in a predefined time, walking/running at a progressively accelerating pace, and submaximal cycle ergometer testing. Drinkard et al.⁸ validated the use of the 12-min walk/run test in obese adolescents and reported that when the pace of the exercise (walking or running) is suitably adapted, this test is accessible to this patient population. In a population of adolescents with obesity, Klijn et al.⁹ proposed the use of an incremental shuttle walk test, based on studies performed in patients with bronchitis.¹¹ They reported that this progressive test is reliable, sensitive and easy to implement to evaluate aerobic capacity during paediatric obesity management. Wallman and Campbell¹⁰ reported that the Aerobic Power Index submaximal exercise test is a simple and highly reliable test that can be used to predict peak $\dot{V}O_2$ in obese adults.

Although widely employed in clinical practice in the management of paediatric obesity, these three field tests to measure exercise capacity have never yet been compared to formal laboratory testing in a longitudinal study.

Furthermore, the capacity of these tests to predict peak $\dot{V}O_2$ has never been evaluated in obese patients. It therefore appears useful to evaluate the reliability of each test to determine cardiorespiratory fitness, and the variations over time during management. This would make it possible to evaluate the functional impact of excess weight, develop personalised training programmes, and determine the impact of weight management programmes on body weight and physical aptitude in obese adolescents.

In this context, the aim of our study was to evaluate, in a population of obese adolescents: (i) the validity of cardiorespiratory fitness indices determined by three adapted field tests compared to formal laboratory testing, (ii) their sensitivity to change and prediction of peak $\dot{V}O_2$ after a period of multidisciplinary weight management (comprising medical, dietary, and psychological management and return to physical activity).

2. Methods

All adolescents registered to enter a publicly funded rehabilitation centre in September 2010 for a 9-month stay for obesity management were eligible for inclusion. All participants and their legal representatives were informed about the study and all provided written informed consent. Since regular assessment of physical activity is obligatory in adolescents treated for obesity in France, this study was considered to represent routine practice and ethics committee approval was waived. We did not exclude patients suffering from dyslipidaemia, insulin resistance or metabolic syndrome. Conversely, we excluded any patients suffering from diseases that represent a contra-indication to physical activity of maximal intensity, as well as patients with type 2 diabetes or any other disease. Pubertal developmental stages were determined according to Tanner's method.¹² In total, 35 adolescents presented for admission to the rehabilitation centre, of whom 5 were excluded (1 had diabetes; 4 did not complete the programme).

Hospital-based intervention aimed to reduce body weight, and was based on nutritional education, increased physical activity, and behavioural therapy, including individual psychological follow-up. Nutritional intervention consisted in providing a balanced diet, with a daily caloric intake of approximately 2300–2500 kcal, according to age and French guidelines for daily caloric intake.¹³

During their stay, all adolescents performed sessions of physical activity at moderate intensity (cardio-training circuits, walking and running, swimming and aqua fitness, sports games) lasting 45–60 min, at least 5 times per week.

For each participant, the following measures were performed in experimental conditions at inclusion (T0) and after 9 months (T1):

- *Anthropomorphic measures.* Body weight was measured with a precision of 0.1 kg using a digital scale. Obesity was defined by age as body mass index (BMI) > International Obesity Task Force-30.¹⁴ To standardise BMI values for age and sex, the BMI z-score was calculated (CALIMCO2, PNNS, France). Abdominal obesity was calculated as (waist circumference/height).
- *An exercise test with increasing load on a cycle ergometer* (Ergos-elect 200K, Ergoline GmbH, 124 Bitz, Germany) was performed until exhaustion of the patient, with continuous measurement of heart rate (HR), minute volume ($\dot{V}E$), gas exchange ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$) (Ergocard® Medisoft Schiller, Sorinnes, Belgium) to measure maximum power developed (P_{max}) and peak oxygen consumption (peak $\dot{V}O_2$). Exercise was considered to be at maximum level when at least two of the three following criteria were reached: (1) HR > 90% of the maximum theoretical HR (calculated as $206.9 - (0.67 \times \text{Age})$)¹⁵; (2) respiratory quotient > 1.1; (3) patients unable to maintain a pedalling frequency above 60 rpm despite encouragement.
- *Three adapted field tests* were performed, separated by intervals of 2–3 days of recovery time; in the same order and after a learning period. HR was measured continuously by telemetry during these tests (Polar® S625x, Finland).

Cardio-respiratory fitness indices were calculated based on the following:

- *12-min walk and run test* (12MWT). Based on Cooper's test,¹⁶ the 12MWT was performed on a 200 m athletics track. The patient was required to cover the greatest distance possible in 12 min on the flat, adapting walking or running speed according to their level of breathlessness (or 6 on Borg's CR10 scale).¹⁷ Since patient participation could vary during the test, continuous feedback of HR made it possible to encourage each adolescent to maintain an optimal and continuous effort. This test gave the maximum distance covered in 12 min (D12). Walking tests performed in a limited time are based on the correlation between distance covered in a given time and oxygen consumption.
- *Adapted 20 m shuttle walk/run test* (A-20MST). We developed an adapted version of the original "Multistage 20 Metre Shuttle Run Test",¹⁸ by adding 10 stages at the beginning in order to reduce the starting speed, and speed over the duration of the test. The test consists in continuous running between 2 parallel lines 20 m apart in time to recorded beeps. The patient starts at a walk, and progressively accelerates (starting speed 4 km h^{-1} , increments $0.5 \text{ km h}^{-1} \text{ min}^{-1}$). After 10 min, the speed of the recorded beeps is at the same rate as the original 20MST at 8.5 km h^{-1} , and continues until the end of the test. The test is stopped at the patient's request once the speed becomes excessive, or by the supervisor, if the patient is no longer able to achieve two consecutive shuttle runs in the allocated time (corresponding to more than 2 m distant from the line when the beep sounds). This last stage is used to estimate the maximum speed reached (MS). Progressively accelerating walk/run tests evaluate physical performance based on the established correlation between maximum speed and peak $\dot{V}O_2$.
- *Submaximal cycle ergometer test in 4 stages* (SCT4). Performed on a fixed cycle ergometer (Physio 4260, Tech Med, France), the patient is required to pedal continuously for 12 min, during which the workload is increased 3 times (at 3, 6, and 9 min), corresponding to 4 levels of workload in total. Starting load was arbitrarily fixed at 30 W for girls and 40 W for boys. The increments for the following 3 stages were 10, 20, 30 or 40 W according to the cardiac adaptation to the previous stage. If HR was stable in the last

minute of each stage, then load was set to achieve a HR approaching 70% of the heart rate reserve (HRR) (calculated as maximum theoretical HR – resting HR) at the end of the test. This widely used approach is an indirect method of estimating peak $\dot{V}O_2$ and is based on established relations between HR, exercise workload and $\dot{V}O_2$.¹⁵ Since HR is linearly related to the power developed, the maximal aerobic power (MAP) is determined by extrapolation based on the HR values at the end of each stage, and on maximal theoretical HR.

In our study, peak $\dot{V}O_2$ for each patient was estimated using the following published equations:

Cooper's equation¹⁶ for 12MWT:

$$\dot{V}O_{2\text{peak}} = (0.022 \times D12) - 10.39$$

Leger's equation¹⁸ for A-20MST:

$$\dot{V}O_{2\text{peak}} = 31.025 + (3.238 \times MS) - (3.248 \times \text{Age}) + (0.1536 \times MS \times \text{Age})$$

ACSM equation¹⁵ for SCT4:

$$\dot{V}O_{2\text{peak}} = \left(\frac{\text{MAP}}{\text{weight}} \times 10.8 \right) + 7$$

All analyses were performed using R software (version 2.14) (R-Foundation, Vienna, Austria), a p -value < 0.05 was considered significant. Quantitative data are presented as mean \pm standard error of the mean (SEM). The paired Student t -test was used to analyse the differences between measures obtained at T0 and those at T1. Correlations were calculated using Pearson's correlation coefficient. Agreement between peak $\dot{V}O_2$ estimated by field tests and in the laboratory was assessed using the Intra Class Correlation, the Bland and Altman method and the Smallest Real Difference.¹⁹ Equations to predict peak $\dot{V}O_2$ were calculated by multiple linear regression.

3. Results

Thus, 30 adolescents (20 female, 10 male), aged 12–17 years (average 14.2 ± 0.3 years), Tanner stage (4.2 ± 0.2), presenting obesity were included. The characteristics of the study population at admission and after 9 months of intervention are shown in Table 1.

After 9 months intervention, we observed a significant reduction in bodyweight (-7.9 kg), BMI (-3.9 kg m⁻²), BMI z-score (-0.82) and waist/height ratio (-0.05) (Table 1). These reductions were mirrored by significant improvements in the laboratory test results, with a significant increase in P_{max} ($+0.42$ W kg⁻¹), $\dot{V}E_{\text{max}}$ ($+17$ L min⁻¹) and peak $\dot{V}O_2$ ($+6.25$ mL min⁻¹ kg⁻¹ or $+0.36$ L min⁻¹). In the field tests, we observed a significant increase in the distance covered in 12 min (D12: $+228$ m), maximum speed achieved (MS: $+1.1$ km h⁻¹) and estimated maximum aerobic power (MAP: $+0.47$ W kg⁻¹).

We also observed positive correlations between P_{max} and D12, MS, MAP, as well as between peak $\dot{V}O_2$ and D12, MS, and MAP. Negative correlations were observed between BMI and D12, MS, and MAP (Table 2).

Linear regression analysis ($n=60$) showed that peak $\dot{V}O_2$ and P_{max} represent:

Table 1

Anthropometric, maximal exercise test data in laboratory and field, at admission and after a 9-month multidisciplinary obesity management programme.

	At admission	At 9 months
<i>Anthropometric data</i>		
Weight (kg)	95.9 \pm 2.46	88 \pm 2.28 ^b
Height (cm)	162.7 \pm 1.13	165.3 \pm 1.26 ^b
BMI (kg m ⁻²)	36.2 \pm 0.83	32.3 \pm 0.86 ^b
BMI z-score	4.37 \pm 0.11	3.55 \pm 0.14 ^b
Waist-to-height Ratio	0.61 \pm 0.009	0.56 \pm 0.010 ^b
<i>Maximal exercise data from laboratory tests</i>		
HR (bpm)	191 \pm 2.10	190 \pm 1.77
W_{max} (W kg ⁻¹)	1.59 \pm 0.06	2.01 \pm 0.08 ^b
$\dot{V}E_{\text{max}}$ (L min ⁻¹)	87.3 \pm 2.81	104.3 \pm 3.36 ^b
Peak $\dot{V}O_2$ (L min ⁻¹)	2.25 \pm 0.07	2.61 \pm 0.10 ^b
Peak $\dot{V}O_2$ (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	23.7 \pm 0.69	29.9 \pm 1.06 ^b
RQ	1.17 \pm 0.02	1.12 \pm 0.02 ^a
<i>Maximal exercise data from field tests</i>		
D12 (m)	1272 \pm 40	1500 \pm 62 ^b
MS (km h ⁻¹)	7.93 \pm 0.25	9.03 \pm 0.25 ^b
MAP (W kg ⁻¹)	1.63 \pm 0.07	2.10 \pm 0.08 ^b

Data are shown as mean \pm standard error mean ($n=30$). BMI, body mass index; BMI z-score, z-score of BMI; D12, walking distance in 12-min; HR, heart rate; MAP, maximal aerobic power; MS, maximum speed; Peak $\dot{V}O_2$, peak oxygen uptake; RQ, respiratory quotient; $\dot{V}E_{\text{max}}$, maximal ventilation; W_{max} , maximal workload.

^a $p < 0.01$.

^b $p < 0.001$.

- 70% of the variance in D12 (66% and 67% respectively for peak $\dot{V}O_2$ and P_{max});
- 73% of the variance in MS achieved in the A-20MST (69% and 71% respectively);
- 73% of the variance in MAP estimated with the SCT4 (71% and 67% respectively).

For every test, Bland and Altman analysis shows accuracy in field tests compared to laboratory tests (see Supplementary Fig. 1). The mean value (m) reflects the systematic discrepancy between the field tests and the laboratory tests. We observed an over-estimation of peak $\dot{V}O_2$ with Cooper's equation in the 12MWT ($m=6.71$), and an under-estimation with Leger's equation in the A-20MST ($m=-3.30$), while the estimation of peak $\dot{V}O_2$ with ACSM's equation on the SCT4 was close to the laboratory values ($m=-0.36$) with good agreement ($SD=3.11$) (Table 3). Consequently, based on the correlations observed in Table 2 and values obtained on the walking tests at the start and the end of management programme, we developed modified versions of the prediction equations for use specifically in a population of obese adolescents (see Supplementary Fig. 1, Table 3). These new equations present multiple R^2 of 0.75

Table 2

Pearson correlation coefficients at admission and after 9-month multidisciplinary obesity management programme from the data of the field tests and the anthropometrical data, and maximal exercise test data.

$n=30$	12MWT D12	A-20MST MS	SCT4 MAP
<i>Before intervention</i>			
Peak $\dot{V}O_2$ (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	0.70 ^c	0.81 ^c	0.71 ^c
W_{max} (W kg ⁻¹)	0.67 ^c	0.75 ^c	0.65 ^c
BMI (kg m ⁻²)	-0.40 ^a	-0.46 ^a	-0.59 ^c
<i>After intervention</i>			
Peak $\dot{V}O_2$ (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	0.82 ^c	0.83 ^c	0.84 ^c
W_{max} (W kg ⁻¹)	0.86 ^c	0.87 ^c	0.83 ^c
BMI (kg m ⁻²)	-0.50 ^b	-0.58 ^c	-0.65 ^c

BMI, body mass index; peak $\dot{V}O_2$, peak oxygen uptake; W_{max} , maximal workload.

^a $p < 0.05$ (data shown are Pearson correlation coefficients).

^b $p < 0.01$ (data shown are Pearson correlation coefficients).

^c $p < 0.001$ (data shown are Pearson correlation coefficients).

Table 3
Existing equations and proposals for revised equations specific to adolescent obesity for the prediction of peak $\dot{V}O_2$ for three field tests.

Test	Equations	ICC		Bland & Altman		
		Single	Mean	Mean \pm SD	95% CI	SRD
12MWT	(a)	0.51	0.68	6.71 \pm 3.90	–0.93 to 14.36	10.81
	(b)	0.86	0.93	–0.10 \pm 2.87	–5.73 to 5.53	7.96
A-20MST	(c)	0.70	0.82	–3.30 \pm 4.74	–12.60 to 5.99	13.15
	(d)	0.85	0.92	0.01 \pm 2.78	–5.45 to 5.46	7.71
SCT4	(e)	0.83	0.91	–0.36 \pm 3.11	–6.46 to 5.74	8.99

(b) Proposed revised equation: 12MWT: $\dot{V}O_{2\text{peak}} = (0.012 \times D12) - (0.406 \times \text{BMI}) + 24.211$

(d) Proposed revised equation: A-20MST: $\dot{V}O_{2\text{peak}} = 19.66 + (2.21 \times \text{MS}) + (0.05 \times \text{Age}) + (2.08 \times \text{Sex}) - (0.38 \times \text{BMI})$ (where sex: female = 0, male = 1).

Measures of agreement for peak $\dot{V}O_2$ between the laboratory tests versus 12MWT (Cooper's equation¹⁶ (a) and revised equation (b)); A-20MST (Leger's equation¹⁸ (c) and revised equation (d)); SCT4 (ACSM equation¹⁵ (e)). ICC, intra class correlation; SD, standard deviation; SRD, smallest real difference; 95% CI, 95% confidence interval (see Supplementary Fig. 1).

for 12MWT and 0.77 for A-20MST. When we applied our revised equations, we observed an improvement in mean (–0.10 vs 6.71) and standard deviation (2.87 vs 3.90) on the 12MWT, and on the A-20MST (0.01 vs –3.30 for the mean, 2.78 vs 4.74 for the standard deviation).

Supplementary data related to this article found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.010>.

4. Discussion

Our study aimed to evaluate, in a population of obese adolescents, cardiorespiratory fitness based on parameters estimated by three adapted field tests, before and after a period of multidisciplinary management, and to compare these parameters with peak oxygen consumption and maximum power as estimated by laboratory tests. Our findings show that a multidisciplinary programme associating medical, dietetic, and psychological management as well as regular physical activity significantly alters anthropometric parameters, and improves cardiorespiratory capacity for exercise. These findings are in accordance with previous reports.^{20,21} By adapting standard tests to our population, in order to reduce the physiological and biomechanical constraints they represent, the three field tests evaluated in our study were well tolerated in clinical terms by our participants.

D12 (m), MS (km h^{-1}) and MAP (W kg^{-1}) were shown to be significantly correlated with peak $\dot{V}O_2$ and P_{max} in relation to body-weight, underlining that these field tests are valid for the evaluation of cardiorespiratory fitness in obese adolescents. Furthermore, the correlation was observed not only at the beginning, but also at the end of the multidisciplinary management programme, indicating that the tests are also sensitive to change over time.

In the 12MWT, the patients had to provide a constant effort at the highest level, based on their own sensation of breathlessness and on the heart rate feedback provided by the test supervisor: average distance achieved before intervention was 1272 m, in the range of those reported by Drinkard⁸ (1174 m) and Calders²² (1362 m) in similar populations. As also observed by Calders,²² we observed better correlation between peak $\dot{V}O_2$ and D12 after intervention, suggesting that regular training improves the prediction of peak $\dot{V}O_2$. Clearly, the 12MWT correctly estimates the patient's fitness, and presents the advantage of being a submaximal test, with a maximum HR at the end of test below 85% of the maximum theoretical HR.

In our A-20MST, patients reached an average maximum speed of 7.9 km h^{-1} before intervention, corresponding to a speed 1.6 km h^{-1} slower than the recommended starting speed for the original 20 m shuttle run test, suggesting that it is necessary to reduce the starting speed in order to slow the overall pace during the whole test. Indeed, Castro-Pineiro et al.²³ showed that overweight children performed less well than their normal-weight

counterparts on this test. In a population of obese adolescents, Klijn et al.⁹ validated the use of an incremental shuttle walk test with 15 levels (from 1.8 to 10.3 km h^{-1}) over a distance of 10 m. However, in our study, it was not possible to use Klijn's proposed test, since the best performers among our study population attained maximum speeds above 12 km h^{-1} at the end of the programme. This explains why the use of a modified field test starting at 4 km h^{-1} , with increments of 0.5 km h^{-1} , reverting to the rhythm of the unmodified 20MST at the 10th level (at 8.5 km h^{-1}), appeared appropriate in clinical practice, to best approach the conditions of the original test.¹⁸ Reducing startup speed allows young obese to invest safely up running and gradually reach their maximum capacity. The maximum speed estimated by this adapted version of the test showed high correlation with laboratory-assessed peak $\dot{V}O_2$ ($r=0.81$), in line with findings reported by Leger et al.¹⁸ ($r=0.76$) in young sportsmen, and Klijn et al.⁹ ($r=0.79$) in obese adolescents. This suggests that our adapted version of the 20MST is valid in a population of obese adolescents, and accurately measures the same parameters as the original.

Based on the submaximal cycle ergometer test,²⁴ and widely used to assess physical fitness,²⁵ the SCT4 has never yet been validated in obese adolescents. Due to increased cardiovascular risk and often due to lack of motivation, obese patients with a sedentary lifestyle experience difficulties performing exercise until exhaustion. The test conditions for the SCT4 are similar to those of an exercise test performed in the laboratory setting, but with submaximal intensity, making it accessible to obese patients. Indeed, it is particularly well suited to obese adolescents since, during the test, they do not have to carry their own weight and the pedalling movement is a simple mechanical pattern. The disadvantage is that only one patient can be evaluated at a time, which is more time consuming. Nonetheless, the SCT4 makes it possible to evaluate with relative ease the fitness of patients who experience muscular or skeletal pain in the lower limbs during running or walking. In addition, the high correlation between MAP and laboratory values reflects the validity of this test, as previously reported in obese adults.¹⁰

The error observed in the prediction of peak $\dot{V}O_2$ on the two walking tests (12MWT, A-20MST) is undoubtedly due to the displacement of a larger corporal mass, requiring higher energy expenditure.²⁶ The reference equations^{16,18} therefore appear inappropriate for an obese population. Moreira et al.²⁷ previously showed that equations incorporating anthropometric parameters have higher sensitivity for prediction of peak $\dot{V}O_2$. In our study, BMI was negatively correlated with D12 and MS. This easy to measure anthropometric parameter should therefore be taken into account when developing specific prediction equations in this population.

The new equations we propose represent a major originality of this study, as they allow prediction of peak $\dot{V}O_2$ in obese adolescents based on field test results. We observed a very small

estimate bias (average almost zero), with good standard deviations ($<3 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) between $\dot{V}O_2$ measured in the laboratory setting, and the $\dot{V}O_2$ estimated by our revised prediction equations. In addition, the multiple correlation coefficients of the prediction equations ($r^2 > 0.75$) underline their high sensitivity. To the best of our knowledge, few studies to date have used BMI to improve prediction of peak $\dot{V}O_2$ on the 12-min walk/run test. Conversely, several authors have previously suggested regression models integrating BMI data to estimate peak $\dot{V}O_2$ based on the 20MST.^{28–30} However, the equations were validated in the general population, with few or no obese adolescents, and for maximum speeds from 8.5 to 18 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. The equations are likely not valid at lower speeds such as those imposed by the A-20MST. Therefore, our study shows that it is possible to measure cardiorespiratory fitness in obese adolescents with field tests, using new prediction equations for the 12MWT and the A-20MST. For the cycle ergometer test, the equation proposed by the American College of Sports Medicine¹⁵ yields better prediction of peak $\dot{V}O_2$ and could thus be used for the SCT4 in obese adolescents.

This study suffers from several limitations. Firstly, the reference test in a laboratory setting to evaluate baseline measures was performed on a cycle ergometer, which differs from two of the three field tests in that it requires mobilisation of less muscle mass as compared to walk/run tests. Therefore, we cannot exclude that use of a treadmill for the laboratory maximal exercise test might have yielded slightly different results. Further investigation remains necessary to validate the specific equations that we propose, preferably with maximal exercise testing using a treadmill and in a larger population of obese adolescents.

5. Conclusion

Our study shows that these three field tests are easy to implement in a population of obese adolescents, and objectively measure several indices of cardiorespiratory fitness that can then be used to elaborate a personalised training programme for each individual. All three tests can be used in clinical practice to evaluate not only the functional impact of overweight, but also to assess the impact of multidisciplinary management of obesity in adolescents, thanks to sensitivity to changes in fitness over time.

6. Practical Implications

- Professionals involved in adapted physical activity can use these three field tests for the evaluation and follow-up of cardiorespiratory fitness in obese adolescents.
- In obese patients whom cardiorespiratory fitness is found to be poor, a personalised programme of adapted physical activity should be developed to improve health.
- In view of the obesity pandemic affecting developed countries, these aptitude tests could be included in programmes evaluating overall physical form in adolescents.

Acknowledgements

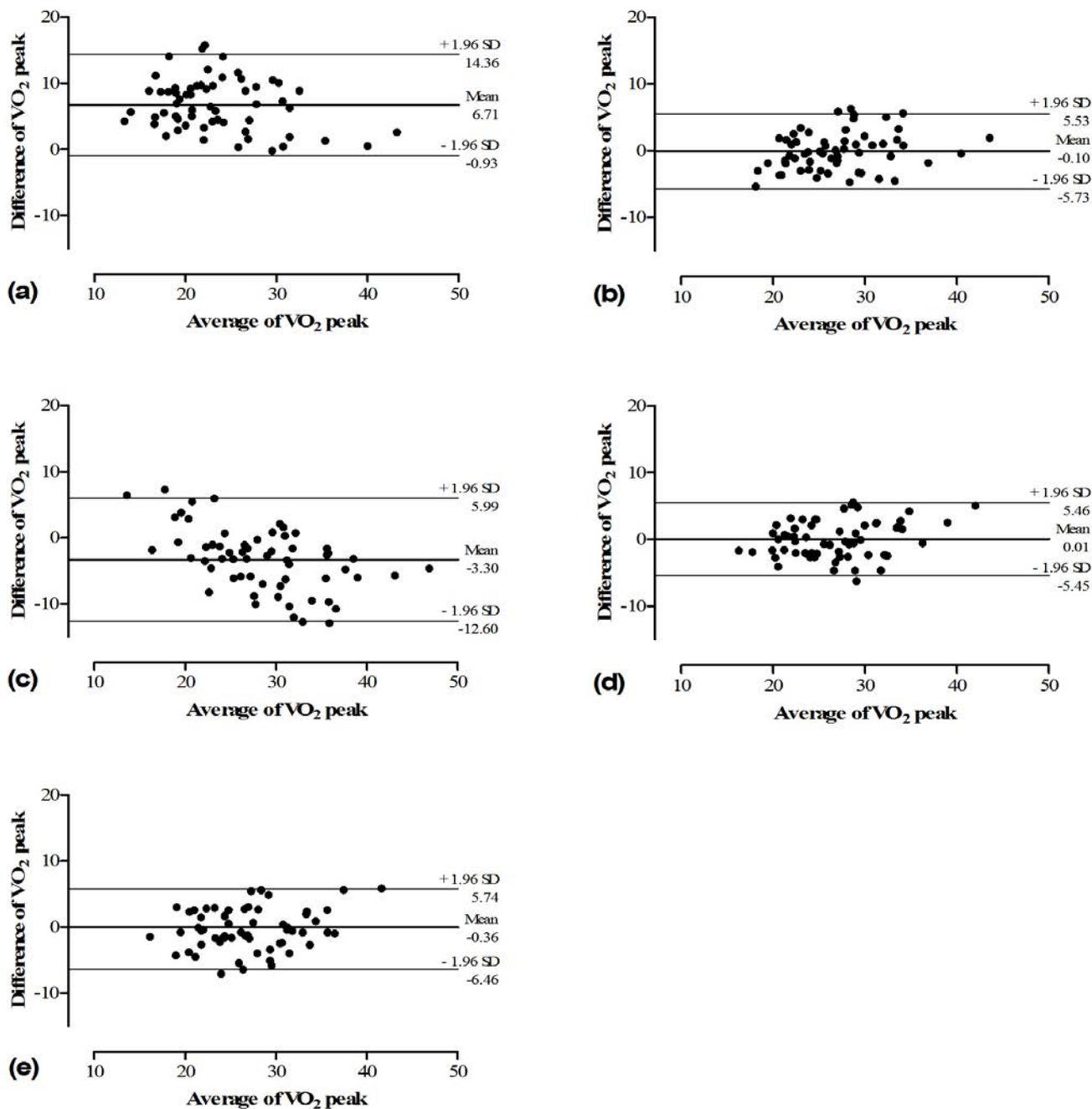
This study was funded by a grant from the “Association De Prévention Santé – Comité régional Bourgogne Franche Comté”, France. The authors are grateful to all the study participants and their parents. We also thank the nurses of the functional explorations laboratory, as well as the physical activity teachers who made this study possible. Our thanks also to Aurore Vivot of the

Clinical Investigation Centre (INSERM CBT506-CIT808) for statistical advice, and to Fiona Ecartot (IFR 133 – EA3920) for translation and editorial assistance.

References

1. Lloyd LJ, Langley-Evans SC, McMullen S. Childhood obesity and risk of the adult metabolic syndrome: a systematic review. *Int J Obes (Lond)* 2012; 36(1):1–11.
2. Juonala M, Magnussen CG, Berenson GS et al. Childhood adiposity, adult adiposity, and cardiovascular risk factors. *N Engl J Med* 2011; 365(20):1876–1885.
3. Waters E, de Silva-Sanigorski A, Hall BJ et al. Interventions for preventing obesity in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2011; 12:CD001871.
4. Rodrigues LP, Leitaó R, Lopes VP. Physical fitness predicts adiposity longitudinal changes over childhood and adolescence. *J Sci Med Sport* 2013; 16(2):118–123.
5. Saavedra JM, Escalante Y, Garcia-Hermoso A. Improvement of aerobic fitness in obese children: a meta-analysis. *Int J Pediatr Obes* 2011; 6(3–4):169–177.
6. Quinart S, Mougín-Guillaume F, Simon-Rigaud ML et al. Sports counseling for overweight children. *Arch Pediatr* 2010; 17(6):894–895.
7. Noonan V, Dean E. Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther* 2000; 80(8):782–807.
8. Drinkard B, McDuffie J, McCann S et al. Relationships between walk/run performance and cardiorespiratory fitness in adolescents who are overweight. *Phys Ther* 2001; 81(12):1889–1896.
9. Klijn PH, Van der Baan-Slootweg OH, Van Stel HF. Aerobic exercise in adolescents with obesity: preliminary evaluation of a modular training program and the modified shuttle test. *BMC Pediatr* 2007; 7:19.
10. Wallman KE, Campbell L. Test-retest reliability of the Aerobic Power Index submaximal exercise test in an obese population. *J Sci Med Sport* 2007; 10(3):141–146.
11. Bradley J, Howard J, Wallace E et al. Validity of a modified shuttle test in adult cystic fibrosis. *Thorax* 1999; 54(5):437–439.
12. Tanner JM. Growth and maturation during adolescence. *Nutr Rev* 1981; 39(2):43–55.
13. Martin A. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, 3rd ed. Paris, AFSSA/Tec & Doc, 2001.
14. Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM et al. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *Br Med J* 2000; 320(7244):1240–1243.
15. American College of Sports Medicine. Health-related physical fitness testing and interpretation, Chapter 4, and General principles of exercise prescription, Chapter 7. In: *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 8th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2009.
16. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *J Am Med Assoc* 1968; 203(3):201–204.
17. Borg G. The Borg CR10 Scale. In: *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign, IL, Human Kinetics, 1998 (Chapter 6).
18. Leger LA, Mercier D, Gadoury C et al. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 1988; 6(2):93–101.
19. Beckerman H, Roebroek ME, Lankhorst GJ et al. Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. *Qual Life Res* 2001; 10(7):571–578.
20. Dao HH, Frelut ML, Oberlin F et al. Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on body composition in obese adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004; 28(2):290–299.
21. Dao HH, Frelut ML, Peres G et al. Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on anaerobic and aerobic aptitudes in severely obese adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004; 28(7):870–878.
22. Calders P, Deforche B, Verschelde S et al. Predictors of 6-minute walk test and 12-minute walk/run test in obese children and adolescents. *Eur J Pediatr* 2008; 167(5):563–568.
23. Castro-Pineiro J, Ortega FB, Keating XD et al. Percentile values for aerobic performance running/walking field tests in children aged 6 to 17 years: influence of weight status. *Nutr Hosp* 2011; 26(3):572–578.
24. Golding L. *YMCA Fitness Testing and Assessment Manual*, 4th ed. Champaign, IL, Human Kinetics, 2000.
25. Committee of Experts on Sports Research. *Handbook for the EUROFIT Tests of Physical Fitness*, 2nd ed. Strasbourg, Council of Europe, 1993.
26. Peyrot N, Thivel D, Isacco L et al. Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents? *J Appl Physiol* 2009; 106(6):1763–1770.
27. Moreira C, Santos R, Ruiz JR et al. Comparison of different $\dot{V}O_{2(\text{max})}$ equations in the ability to discriminate the metabolic risk in Portuguese adolescents. *J Sci Med Sport* 2011; 14(1):79–84.
28. Matsuzaka A, Takahashi Y, Yamazoe M et al. Validity of the multistage 20-m shuttle-run test for Japanese children, adolescents, and adults. *Pediatr Exerc Sci* 2004; 16:113–125.
29. Ruiz JR, Ramirez-Lechuga J, Ortega FB et al. Artificial neural network-based equation for estimating $\dot{V}O_{2\text{max}}$ from the 20 m shuttle run test in adolescents. *Artif Intell Med* 2008; 44(3):233–245.
30. Mahar MT, Guerrieri AM, Hanna MS et al. Estimation of aerobic fitness from 20-m multistage shuttle run test performance. *Am J Prev Med* 2011; 41(4 (Suppl. 2)):S117–S123.

APPENDIX Evaluation of cardiorespiratory fitness using three field tests in obese adolescents: validity, sensitivity and prediction of peak VO_2 .



Supplementary Figure 1: Measure of agreement between the laboratory tests and 12MWT [Cooper's equation (a) and revised equation (b)], A-20MST [Leger's equation (c) and revised equation (d)] and SCT4 [ACSM equation (e)] for maximal oxygen uptake assessed by plotting the individual differences of peak VO_2 against their means. ($n = 60$)

The central line corresponds to the average difference between the actual laboratory values and predicted values of the 3 field tests; the lower and upper lines correspond to lower and upper limits of agreement, respectively.

- PUBLICATION N°5 -

**VENTILATORY THRESHOLDS DETERMINED FROM HEART RATE VARIABILITY: COMPARISON
OF TWO METHODS IN OBESE ADOLESCENTS**

DETERMINATION DES SEUILS VENTILATOIRES

A PARTIR DE LA VARIABILITE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE :

ETUDE DE DEUX METHODES D'ANALYSE CHEZ LE JEUNE OBESE

Sylvain Quinart, Laurent Mourot, Marie-Laure Simon-Rigaud, Marie Nicolet-Guénat,
Véronique Nègre, Anne-Marie Bertrand, Nicolas Meneveau, Fabienne Mougin.

Publié dans *Int J Sports Med* - Sous presse.

DOI : <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1345172>

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale au :

**XV^{ème} Congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives –
Grenoble – 29 au 31 octobre 2013**

QUINART S, MOUROT L, MOUGIN F. Détermination des seuils ventilatoires à partir de la variabilité de la
fréquence cardiaque chez l'adolescent obèse.

Résumé

Le but de ce travail a été d'étudier la fiabilité de deux méthodes d'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque pour la détermination des seuils ventilatoires chez le jeune obèse. Vingt adolescents (IMC moyen : $34,8 \pm 0,9$) ont réalisé, avant et après une prise en charge multidisciplinaire, une épreuve d'effort maximale. La mesure des échanges gazeux en cycle à cycle (O_2 et CO_2) a permis de définir les seuils ventilatoires par la méthode de référence de Wasserman. L'enregistrement des intervalles R-R a permis d'estimer des seuils de variabilité de la fréquence cardiaque à partir d'analyses temporelle et fréquentielle en temps variant. Les résultats montrent de meilleures corrélations aux premier (SV_1) et second seuils ventilatoires (SV_2), déterminés par l'analyse fréquentielle, comparées à celles obtenues par l'analyse temporelle (puissance à SV_1 : $r = 0,91$ vs $r = 0,74$ et à SV_2 : $r = 0,93$ vs $r = 0,78$). L'absence de biais et les déviations standards basses (> 6 bpm) observés pour les fréquences cardiaques aux seuils, confirme que l'analyse fréquentielle en temps variant est interchangeable avec la méthode de référence pour la détection des seuils ventilatoires. De plus, elle est sensible à l'entraînement, ce qui renforce son intérêt en pratique clinique dans le domaine de la réhabilitation. Ainsi, cet outil peu coûteux et non invasif pourrait être utilisé plus largement dans la prise en charge de l'obésité.

Ventilatory Thresholds Determined from HRV: Comparison of 2 Methods in Obese Adolescents

Authors

S. Quinart^{1,3}, L. Mourot², V. Nègre³, M.-L. Simon-Rigaud⁴, M. Nicolet-Guénat⁵, A.-M. Bertrand³, N. Meneveau¹, F. Mougin¹

Affiliations

Affiliation addresses are listed at the end of the article

Key words

- child
- obesity
- exercise test
- physical education and training
- time-domain analysis
- time-varying spectral analysis

Abstract

The development of personalised training programmes is crucial in the management of obesity. We evaluated the ability of 2 heart rate variability analyses to determine ventilatory thresholds (VT) in obese adolescents. 20 adolescents (mean age 14.3 ± 1.6 years and body mass index z-score 4.2 ± 0.1) performed an incremental test to exhaustion before and after a 9-month multidisciplinary management programme. The first (VT_1) and second (VT_2) ventilatory thresholds were identified by the reference method (gas exchanges). We recorded RR intervals to estimate VT_1 and VT_2 from heart rate variability using time-domain analysis and time-varying spectral-domain analysis. The coefficient correla-

tions between thresholds were higher with spectral-domain analysis compared to time-domain analysis: Heart rate at VT_1 : $r=0.91$ vs. $=0.66$ and VT_2 : $r=0.91$ vs. $=0.66$; power at VT_1 : $r=0.91$ vs. $=0.74$ and VT_2 : $r=0.93$ vs. $=0.78$; spectral-domain vs. time-domain analysis respectively). No systematic bias in heart rate at VT_1 and VT_2 with standard deviations <6 bpm were found, confirming that spectral-domain analysis could replace the reference method for the detection of ventilatory thresholds. Furthermore, this technique is sensitive to rehabilitation and re-training, which underlines its utility in clinical practice. This inexpensive and non-invasive tool is promising for prescribing physical activity programs in obese adolescents.

Introduction

Prescribing adapted physical exercise in obese paediatric subjects requires evaluation of physical capacity [2], generally achieved by means of an incremental test to exhaustion with measurement of gas exchanges, to estimate the first and second ventilatory thresholds (VT_1 and VT_2 , respectively). In obese adolescents, a moderate intensity exercise (i. e., below VT_1) induces maximal fat oxidation during exercise [13]; exercise training alternating moderate and high intensity (between VT_1 and VT_2) improves cardiovascular risk factors [19]; and high intensity training (at VT_2) leads to reduction in post-exercise appetite [18]. Accurate evaluation of VT is therefore crucial to the development of personalised training programmes, but remains challenging, as it requires sophisticated and expensive equipment as well as suitably qualified personnel.

In this context, several authors have proposed analysis of heart rate variability (HRV) during incremental exercise as an alternative method to determine VT. Indeed, time domain analysis of

HRV can identify the point when vagal modulation of heart rate (HR) disappears [17], which was correlated with VT_1 [9] and the lactate threshold [11]. Furthermore, spectral-domain HRV analysis makes it possible to characterise respiratory activity during exercise and identify VT_1 and VT_2 [6,7]. These methods have recently been applied in adult patients with cardiovascular disease [14] or type 2 diabetes mellitus [16]. To the best of our knowledge, no study to date has investigated the use of spectral-domain HRV analysis among obese adolescents, and only one study has highlighted the limitations of time-domain method to determine VT_1 in these young [5].

In this context, we aimed to study the ability of time- and spectral-domain HRV analysis to define VT in obese adolescents, by comparing HR and power associated with HRV thresholds to those obtained by the reference method based on gas exchanges; and secondly, to evaluate sensitivity to change in the thresholds thus determined after a phase of multidisciplinary management.

accepted after revision
April 15, 2013

Bibliography

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1345172>
Published online: 2013
Int J Sports Med
© Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0172-4622

Correspondence

Sylvain Quinart
RéPPOP-FC
Service de pédiatrie
CHRU St. Jacques
25000 Besançon
France
Tel.: +33/381/219 001
Fax: +33/381/219 006
s.quinart@free.fr

Materials & Methods

Participants

20 adolescents (14 girls, 6 boys), ages 12–17 years (average 14.3 ± 1.6 years) presenting with obesity, defined by age as body mass index (BMI) > International Obesity Task Force–30 (average $34.8 \pm 0.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) participated. The study protocol, which complies with the ethical standards of the International Journal of Sports Medicine [10], was approved by the Ethics Committee of the University Hospital of Besancon. All participants and their parents or legal guardians provided written informed consent. Each subject participated in a live-in, multidisciplinary management programme in a hospital setting aimed at reducing excess weight, based on medical, nutritional and psychological counselling, and a return to physical exercise (walking, running, swimming, aquagym or sport games; sessions of 60 min; 5 times a week; intensity maintained between VT_1 and VT_2).

Test procedure

At the beginning and end of the 9-month programme, each participant performed an incremental exercise stress test on a cycle ergometer (Ergoselect 200K, Ergoline GmbH, Bitz, Germany) until exhaustion. Ventilation ($\dot{V}E$) and gas exchanges ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$) were measured from cycle to cycle (Ergocard® Medisoft Schiller, Sorinnes, Belgium). The RR intervals were continuously recorded using an s810 HR monitor (Polar®, Kempele, Finland) [12]. Initial intensity and increments were 10 watts (W) for girls and 15 W for boys. The test was performed in 3-min stages until the $\dot{V}O_2$ - $\dot{V}CO_2$ intersected in order to achieve greater stability of the RR intervals [11], and in 1-min stages until the patient reached exhaustion for a more accurate estimation of peak oxygen consumption ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) and peak work power (WP_{peak}) [1].

Determination of ventilatory thresholds (VT)

VT_1 and VT_2 were determined using the reference method [21] as the ventilatory equivalents for oxygen ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) and CO_2 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) averaged every 15 s. VT_1 corresponds to the first increase of the $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ curve without an increase in the $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ curve. VT_2 corresponds to the first increase in $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, coinciding with a second increase in $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ (◻ Fig. 1). This procedure gave the heart rates (HR_1 and HR_2) and power (WP_1 and WP_2) associated with VT_1 and VT_2 , respectively.

Determination of heart rate variability threshold (HRVT)

HRV data were filtered and analysed by dedicated software (Polar® Pro Trainer, Kempele, Finland; Kubios HRV Analysis v2.0, Kuopio, Finland) according to 2 different methods:

- ▶ Time-domain analysis: The root mean square of successive differences (rMSSD) was performed using the RR intervals of the last 60 s of each stage. The change in rMSSD according to power follows a descending curve until reaching a point of stabilisation (HRVT_T). According to Karapetian et al. [11], HRVT_T was visually identified as the point beyond which there was no further decline in rMSSD between 2 consecutive stages of exercise (◻ Fig. 1).
- ▶ Time-varying spectral analysis was performed using Fourier transforms with a sliding window of 64 s, every 3 s. The high-frequency (HF) band was extended from 0.15 to 1.8 Hz for more accurate evaluation of respiratory sinus arrhythmia at high breathing rates [7]. HF peaks were modelled with a third order equation (f_{HFm}) to eliminate artefacts [6]. The change in

HF spectral density was calculated as the product of this model and HF power ($f_{\text{HFm}} \cdot \text{HF}_p$). Logarithmic transformation was then used to increase sensitivity to instantaneous change ($\text{Ln}(f_{\text{HFm}} \cdot \text{HF}_p)$). According to Buchheit et al. [6], HRVT₅₁ and HRVT₅₂ were determined visually from the $\text{Ln}(f_{\text{HFm}} \cdot \text{HF}_p)$ graph as a function of time (◻ Fig. 1). HRVT₅₁ corresponds to the stabilisation of the function $\text{Ln}(f_{\text{HFm}} \cdot \text{HF}_p)$ after having reached a nadir, while HRVT₅₂ corresponds to the last considerable increase in $\text{Ln}(f_{\text{HFm}} \cdot \text{HF}_p)$.

Based on these criteria, 2 independent researchers calculated the different thresholds (HRVT_T, HRVT₅₁ and HRVT₅₂) for each subject. In case of disagreement, a third researcher was consulted, and the majority value was chosen. For each threshold, the corresponding heart rates (HR_T , HR_{51} and HR_{52}) and power (WP_T , WP_{51} and WP_{52}) were recorded.

Statistical analysis

All analyses were performed using SigmaPlot version 12 (Systat Software Inc, Chicago, IL, USA). A p-value < 0.05 was considered statistically significant. Data are presented as mean ± standard error of the mean (SEM). In order to standardise BMI values for age and sex, the BMI z-score was calculated (CALIMCO2, PNNs, France). Normal distribution of variables was verified using the Kolmogorov-Smirnov test. The paired Student t-test was used to assess the impact of management by comparing pre- and post-management variables for each subject, with differences being expressed as per cent. Inter-observer reliability to determine each threshold was measured by intra-class Coefficient Correlation (ICC). The comparisons between HRV methods and the reference method were done by calculating Pearson correlation coefficients between HR_1 and HR_T , HR_1 and HR_{51} , HR_2 and HR_T , HR_2 and HR_{52} ; WP_1 and WP_T , WP_1 and WP_{51} , WP_2 and WP_T , WP_2 and WP_{52} , and by using the Bland & Altman method [4] that compare the different methods of estimating HR at the VT and evaluate the potential existence of agreement or bias.

Results

The characteristics of the study population at admission and after the rehabilitation programme are shown in ◻ Table 1. Multidisciplinary management led to a significant reduction in weight, BMI, BMI z-score, and to a significant increase in WP_{peak} , $\dot{V}O_{2\text{peak}}$, and power at VT_1 and VT_2 . The power at which HRVT_T, HRVT₅₁ and HRVT₅₂ occurred was significantly higher at the end of the programme than at admission (◻ Fig. 1).

Based on the heart rate associated with the determined threshold, ICC was 0.93 for VT_1 , 0.96 for VT_2 , 0.94 for HRVT_T, 0.85 for HRVT₅₁ and 0.92 for HRVT₅₂. Significant positive correlations were observed for HR and for power between:

- ▶ VT_1 and HRVT_T,
- ▶ VT_1 and HRVT₅₁,
- ▶ VT_2 and HRVT_T,
- ▶ VT_2 and HRVT₅₂.

Higher correlation coefficients were obtained for both HR and power using time-varying spectral analysis, then with time-domain analysis. (◻ Table 2).

Bland and Altman analysis (◻ Fig. 2) showed a low estimation bias (average close to 0) between HR_1 and HR_T , HR_1 and HR_{51} , HR_2 and HR_{52} . A systematic error of 22 beats per minute (bpm) was observed between HR_2 and HR_T . In addition, standard deviations < 6 bpm were observed between HR_1 and HR_{51} and HR_2

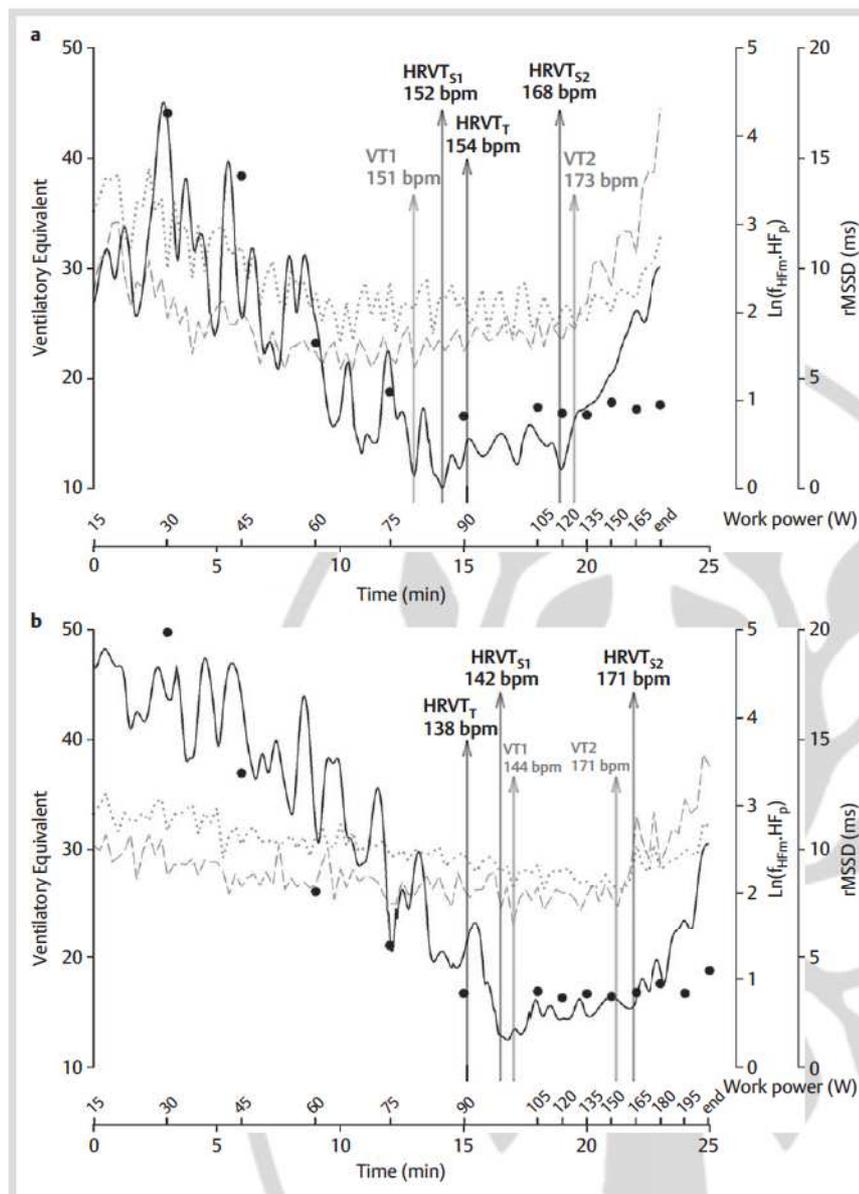


Fig. 1 Typical example of the identification of ventilatory thresholds by the reference method and by analysis of heart rate variability in one representative obese adolescent at admission **a** and after **b** a 9-month multidisciplinary obesity management programme. Using the reference method, VT_1 corresponds to the first increase of the $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ curve (dotted line) without an increase in the $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ curve (dashed line). VT_2 corresponds to the first increase in $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ coinciding with a second increase in $\dot{V}E/\dot{V}O_2$. $HRVT_T$ is the HRV Threshold determined by Time-domain analysis, and corresponds to the rMSSD (circle) every minute, and located at the point where there is no further decrease. $HRVT_{S1}$ and $HRVT_{S2}$ represent the first and second HRV Thresholds as determined by time-varying Spectral analysis and correspond to the first non-linear increase in the function $\ln(f_{HFm} - HF_p)$ after having reached a nadir, and to the last abrupt increase of $\ln(f_{HFm} - HF_p)$, respectively (black line).

and HR_{S2} , whereas those observed between HR_1 and HR_T were greater, exceeding 10 bpm.

Discussion

This study aimed to evaluate whether, during an exercise stress test, time-domain and spectral-domain HRV analysis would make it possible to accurately estimate VT in obese adolescents, and whether these analyses are sensitive to change after 9 months of multidisciplinary management including targeted exercise therapy.

Detection of the disappearance of vagal activity during incremental exercise using time-domain HRV analysis is well documented in the literature [11, 17]. Karapetian et al. [11] suggested that in healthy subjects, this reduction of vagal modulation corresponds to the lactate threshold and a rapid increase in ventilation. In our study, the correlations observed between $HRVT_T$ and VT_2 were significant, but presented a considerable systematic bias, which undermines the validity of this technique for determining VT_2 . This threshold seems to be closer to VT_1 , and indeed,

the correlations between power at $HRVT_T$ and VT_1 were close to those observed by Sales et al. in diabetic patients [16]. They were also similar in terms of HR to those observed by Mourou et al. in patients with cardiovascular disease [14]. However, the standard deviations observed between $HRVT_T$ and VT_1 , in the range of ± 11 bpm, were only mediocre. This could be explained by the fact that each rMSSD value reflects an HR calculated as the average of RR intervals over a 60-s period, which in turn represents a period of 3 min of exercise at constant intensity. The increase in HR during a stage of exercise, which can be up to 15 bpm, probably contributes to the lack of accuracy of this method. Consequently, HR at VT_1 could be estimated with a discrepancy of < 5 bpm compared to the reference method in only 62.5% of our subjects, which is poor for a clinical application of the time-domain analysis method.

Conversely, time-varying spectral analysis of HRV has been validated for the estimation of both VT_1 and VT_2 [6, 7]. The calculation of HF power and the frequency of peaks associated with HF provides information about the changes in tidal volume and instantaneous breathing rate, without the need for any specific equipment measuring ventilation [3]. The pattern of the product of HF and f_{HF}

(a)		At admission	At 9 months		
<i>anthropometric data</i>					
	weight (kg)	92.9±2.7	85.0±2.3***		
	height (cm)	163.5±1.5	165.8±1.7***		
	BMI (kg.m ⁻²)	34.8±0.9	31.1±1.0***		
	Z-score BMI	4.2±0.1	3.3±0.2***		
<i>maximal exercise data</i>					
	HR (bpm)	192.3±2.5	190.9±1.8		
	RER	1.18±0.02	1.14±0.02		
	VO _{2peak} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	24.4±0.9	30.7±1.4***		
	WP _{peak} (W)	151.0±7.2	173.3±8.7***		
	WP _{peak} (W.kg ⁻¹)	1.64±0.08	2.06±0.11***		
(b)		At admission	At 9 months	Δ%	
<i>sub-maximal exercise data</i>					
	VT ₁	HR ₁ (bpm)	143.0±3.1	139.1±2.8	
		WP ₁ (W)	61.5±4.0	78.3±3.9***	22.0±2.4
	VT ₂	HR ₂ (bpm)	166.0±2.9	161.7±2.5	
		WP ₂ (W)	99.8±4.9	121.5±5.9***	17.6±2.2
	HRVT _T	HR _T (bpm)	145.6±2.6	138.3±3.0**	
		WP _T (W)	67.3±4.6	81.0±6.3*	13.5±5.1
	HRVT _{S1}	HR _{S1} (bpm)	143.9±2.7	137.2±3.2*	
		WP _{S1} (W)	66.3±4.3	77.8±4.4***	14.9±2.6
	HRVT _{S2}	HR _{S2} (bpm)	165.4±3.0	162.1±2.6	
		WP _{S2} (W)	103.0±5.5	125.8±6.8***	17.1±3.0

Table 1 Changes in anthropometric, maximal (a) and sub-maximal (b) exercise data in 20 obese adolescents at admission and after a 9-month multidisciplinary obesity management programme.

BMI: Body Mass Index; BMI Z-score: Z-score of BMI; HR: Heart Rate; bpm, beats per minute; RER: Respiratory Exchange Ratio; VO_{2peak}: peak oxygen uptake; WP: Work Power; W, watts
 VT₁ and VT₂: first and second ventilatory thresholds determined with the respiratory equivalent method (reference); HRVT_T: threshold determined by time-domain HRV analysis; HRVT_{S1} and HRVT_{S2}: first and second thresholds determined by the time-varying spectral analysis of HRV
 *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

Table 2 Correlations between ventilatory thresholds and heart rate variability thresholds for heart rate and power (n=40).

	r	95% CI	Subjects presenting differences less than
			5bpm (n/%) 10 Watt (n/%)
HR ₁ vs. HR _T	0.66***	0.44–0.81	25/62.5%
HR ₁ vs. HR _{S1}	0.91***	0.84–0.95	27/67.5%
HR ₂ vs. HR _T	0.66***	0.45–0.81	3/7.5%
HR ₂ vs. HR _{S2}	0.91***	0.83–0.95	32/80%
WP ₁ vs. WP _T	0.74***	0.56–0.86	29/72.5%
WP ₁ vs. WP _{S1}	0.91***	0.84–0.95	34/85%
WP ₂ vs. WP _T	0.78***	0.61–0.88	4/10%
WP ₂ vs. WP _{S2}	0.93***	0.88–0.97	31/77.5%

95% CI, 95% Confidence Interval
 Abbreviations are identical to those presented in Table 1
 r = Pearson correlation coefficients ***p<0.001

(Ln(f_{HFm}.HF_p) in this study) during incremental exercise follows a U-shaped curve, declining until it reaches a first threshold (HRVT_{S1}), with a reduction in parasympathetic activity associated with an increase in breathing rate. The curve then increases sharply from a second threshold (HRVT_{S2}), stimulated by the hyperpnoea and exerting a mechanical effect on the sinus node [6]. The correlations observed in our study for power between HRVT_{S1} and VT₁ and between HRVT_{S2} and VT₂ are high and similar to those observed by Cottin et al. in healthy subjects [7]. Expressed in terms of HR, they are also close to those observed by Mourot et al. in patients with cardiovascular disease [14]. All of these correlation coefficients are superior to those obtained with the time-domain method. This is likely due to the fact that HR

determined by the time-varying spectral analysis corresponds to an average value every 3 s, which yields greater temporal resolution, and thus better approximates the true value of HR at the thresholds. Indeed, our results show that it is possible to accurately estimate HR at VT₁ and VT₂ from this method, since it is evaluated with a discrepancy of <5 bpm as compared to the reference method in respectively 67.5% and 80% of our patients. Furthermore, although cardiac information is recorded, the product of f_{HFm}.HF_p directly reflects information stemming from the respiratory system during exercise. This is not the case in the time-domain method, where the information is more representative of the whole autonomic nervous system and not on ventilation during exercise [20]. Since there is currently no firm evidence showing that the autonomic nervous system is involved in the occurrence of VT, it seems logical that the time-domain method is less able to obtain a good estimation of VT. Our results suggest that spectral-domain HRV analysis is a more reliable method for the estimation of VT in obese adolescents.

Lastly, our study confirms that a programme of multidisciplinary management, including targeted exercise therapy, significantly modifies anthropometric parameters and improves cardio-respiratory variables at sub-maximal and maximal level [8, 15]. If we look in particular at the power at the thresholds determined by HRV, it can be seen that they increase with the same order of magnitude as these same parameters measured by the reference method. Indeed, WP₂ and WP_{S2} increase by 17.6±2.2% and 17.1±3.0%, respectively. However, sensitivity to change is slightly lower if we compare WP₁ and WP_{S1}, which increased by 22.0±2.4% and 14.9±2.6%, respectively. In any case, these results remain superior to the increase of 13.5±5.1% observed for WP_T.

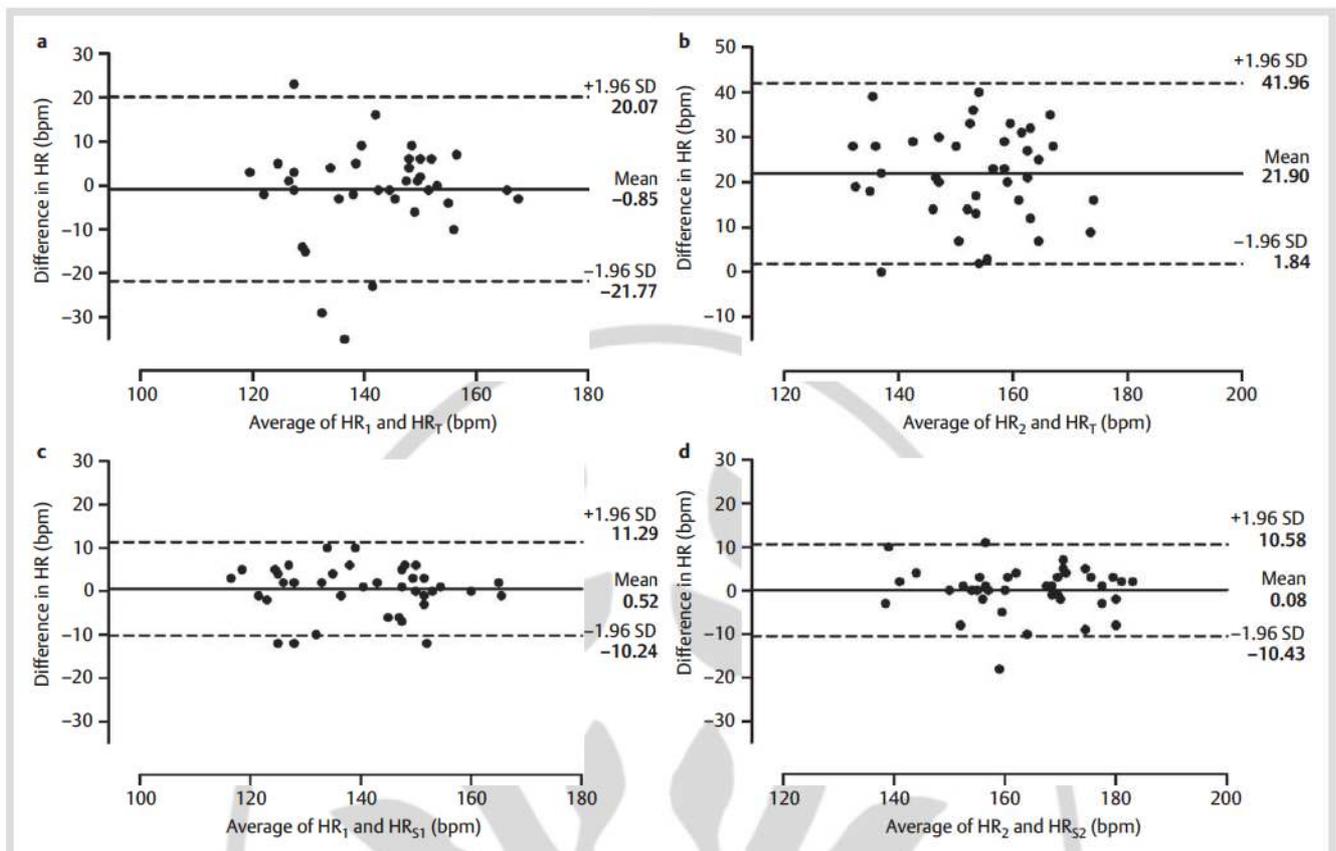


Fig. 2 Individual differences between heart rate at the ventilatory thresholds measure by the reference method and by the time-domain (panel a and b), and the by time-varying spectral-domain (panel c and d) analysis of heart rate variability ($n=40$). Abbreviations are identical to those presented in [Table 1](#). Horizontal dotted lines represent the limits of agreement according to the Bland & Altman method and correspond to ± 1.96 standard deviations.

To the best of our knowledge, no study to date has investigated the impact of this type of multidisciplinary management programme on the VT determined by HRV. Our findings suggest that the spectral-domain method used here seems to be appropriate for quantifying the change in physical aptitude over the course of a training programme in young obese subjects.

Our study presents several limitations, particularly regarding the protocol used for the exercise test. In order to obtain stable RR intervals to determine HRV_T, we proposed a mixed protocol, combining exercise stages of 3 min duration at the start of the test, and then of 1 min duration, which differs from the ramp protocols recommended for optimal detection of VT₁ and VT₂ with the gas exchange method [1]. In addition, the interpretation remains subjective and operator-dependent, and 2, if not 3 independent experts established the thresholds for each subject. However, the ICC for HRV_T and HRV_{S2} were higher than 0.9, which could be considered as high as and similar to the ICC for the ventilatory thresholds determined from the reference method. Only the ICC for HRV_{S1}, which was between 0.80 and 0.90, could be considered as moderate.

In conclusion, time-varying spectral analysis, as compared to time-domain analysis, makes it possible to determine HR and power at VT₁ and VT₂ in obese adolescents with sufficient accuracy to envisage replacing in daily practice the gas exchanges method in the field of rehabilitation. In addition, this technique is sensitive to change after training, which reinforces its use in daily practice in the field of rehabilitation. This inexpensive and non-invasive tool could thus be used more widely in the management of obesity and personalised training programmes.

Acknowledgements

The authors are grateful to all the study participants and their parents, as well as the nurses of the functional explorations laboratory and the physical activity teachers who made this study possible. Our thanks also to Fiona Ecartot (EA3920) for translation and editorial assistance.

Affiliations

- ¹EA3920, Prognostic Marker and Regulatory Factor of CardioVascular Disease, University of Franche-Comte, Besançon, France
- ²EA 4660 Culture Sport Health Society and Exercise Performance, Health, Innovation Platform, University of Franche-Comté, Besançon, France
- ³Pediatric Obesity Prevention and Rehabilitation Department, CHRU, Besançon, France
- ⁴Physiology Functional Explorations, CHRU, Besançon, France
- ⁵SSR La Beline, Childhood Obesity Rehabilitation Centre, Salins-les-Bains, France

References

- ¹ *American College of Sports Medicine* (ed.). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2009; 374
- ² Baker JL, Farpour-Lambert NJ, Nowicka P, Pietrobelli A, Weiss R. Evaluation of the overweight/obese child – practical tips for the primary health care provider: recommendations from the Childhood Obesity Task Force of the European Association for the Study of Obesity. *Obes Facts* 2010; 3: 131–137
- ³ Blain G, Meste O, Bermon S. Influences of breathing patterns on respiratory sinus arrhythmia in humans during exercise. *Am J Physiol* 2005; 288: H887–H895
- ⁴ Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307–310

- 5 Brunetto A, Roseguini B, Silva B, Hirai D, Ronque E, Guedes D. Heart rate variability threshold in obese and non-obese adolescents. *Rev Bras Med Esporte* 2008; 14: 145–149
- 6 Buchheit M, Solano R, Millet GP. Heart-rate deflection point and the second heart-rate variability threshold during running exercise in trained boys. *Pediatr Exerc Sci* 2007; 19: 192–204
- 7 Cottin F, Lepretre PM, Lopes P, Papelier Y, Medigue C, Billat V. Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability in well-trained subjects during cycling. *Int J Sports Med* 2006; 27: 959–967
- 8 Dao HH, Frelut ML, Peres G, Bourgeois P, Navarro J. Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on anaerobic and aerobic aptitudes in severely obese adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004; 28: 870–878
- 9 Dourado VZ, Banov MC, Marino MC, de Souza VL, Antunes LC, McBurnie MA. A simple approach to assess VT during a field walk test. *Int J Sports Med* 2010; 31: 698–703
- 10 Harris DJ, Atkinson G. Update – Ethical standards in sport and exercise science research. *Int J Sports Med* 2011; 32: 819–821
- 11 Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ. Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med* 2008; 29: 652–657
- 12 Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE. Comparison of Polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int J Sports Med* 2005; 26: 39–44
- 13 Lazzer S, Lafortuna C, Busti C, Galli R, Tinozzi T, Agosti F, Sartorio A. Fat oxidation rate during and after a low- or high-intensity exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108: 383–391
- 14 Mourot L, Tordi N, Bouhaddi M, Teffaha D, Monpere C, Regnard J. Heart rate variability to assess ventilatory thresholds: reliable in cardiac disease? *Eur J Prev Cardiol* 2012; 19: 1272–1280
- 15 Prado DM, Silva AG, Trombetta IC, Ribeiro MM, Nicolau CM, Guazzelli IC, Matos LN, Negrao CE, Villares SM. Weight loss associated with exercise training restores ventilatory efficiency in obese children. *Int J Sports Med* 2009; 30: 821–826
- 16 Sales MM, Campbell CS, Morais PK, Ernesto C, Soares-Caldeira LF, Russo P, Motta DF, Moreira SR, Nakamura FY, Simoes HG. Noninvasive method to estimate anaerobic threshold in individuals with type 2 diabetes. *Diabetol Metab Syndr* 2011; 3: 1–8
- 17 Shibata M, Moritani T, Miyawaki T, Hayashi T, Nakao K. Exercise prescription based upon cardiac vagal activity for middle-aged obese women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; 26: 1356–1362
- 18 Thivel D, Isacco L, Montaurier C, Boirie Y, Duche P, Morio B. The 24-h energy intake of obese adolescents is spontaneously reduced after intensive exercise: a randomized controlled trial in calorimetric chambers. *PLoS One* 2012; 7: e29840
- 19 Tjonna AE, Stolen TO, Bye A, Volden M, Slordahl SA, Odegard R, Skogvoll E, Wisloff U. Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci (Lond)* 2009; 116: 317–326
- 20 Warren JH, Jaffe RS, Wraa CE, Stebbins CL. Effect of autonomic blockade on power spectrum of heart rate variability during exercise. *Am J Physiol* 1997; 273: 495–502
- 21 Wasserman K, Hansen J, Sue D, Stringer W, Sietsema K, Sun X, Be Whipp (ed.). *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011; 592

- PUBLICATION N°6 -

**VALIDATION OF A NEW SCALE TO MEASURE PERCEIVED EXERTION IN OBESE
ADOLESCENTS: THE CHILDHOOD OBESITY PERCEIVED EXERTION (COPE-10) SCALE**

**VALIDATION D'UNE NOUVELLE ECHELLE DE PERCEPTION DE L'EFFORT POUR
L'ADOLESCENT OBESE : " CHILDHOOD OBESITY PERCEIVED EXERTION SCALE " : LE COPE-10**

Sylvain Quinart, Alain Groslambert, Fiona Ecarnot, Marie-Laure Simon-Rigaud, Marie Nicolet-Guénat, Véronique Nègre, Fabienne Mougin

Soumis à *Appl Physiol Nutr Metab* - le 25 octobre 2013

Ce travail a été présenté sous forme de communication orale au :

**V^{ème} Congrès Commun Société Française de Médecine de l'Exercice et du Sport & Société Française
de Traumatologie du Sport** – Grenoble – 25 au 27 octobre 2012

QUINART S, MOUGIN F, SIMON-RIGAUD ML, NICOLET M, NEGRE V, REGNARD J. Utilisation d'une échelle de Perception Subjective de l'Effort comme moyen de détermination du seuil de désadaptation ventilatoire chez l'adolescent obèse.

Résumé

L'objectif de cette recherche a été de valider une échelle de perception de l'effort, le "Childhood Obesity Perceived Exertion Scale" (COPE-10), en étudiant sa spécificité, sa reproductibilité et sa sensibilité chez l'adolescent obèse.

Trente adolescents obèses ($IMC = 36,2 \pm 4,6 \text{ kg.m}^{-2}$), âgés de $14,2 \pm 1,6$ ans, ont réalisé deux épreuves incrémentées (maximale puis sous-maximale) avant et après un programme d'intervention. Afin d'uniformiser les charges de travail, les variables physiologiques (FC, VE et VO_2) et perceptives (PE) ont été respectivement modélisées (f_{FC} , f_{VE} , f_{VO_2} , f_{PE}). La valeur perceptive à « 6 » sur le COPE-10 (PE_6) et le seuil de désadaptation ventilatoire (SV_2) ont permis de déterminer respectivement les puissances (P_{PS6} , P_{SV2}) et les fréquences cardiaques (FC_{PE6} , FC_{SV2}) associées.

Au cours de l'épreuve maximale, des corrélations significatives ont été retrouvées, en pré- et en post-cure, entre f_{PE} et f_{FC} ($r = 0,88$; $r = 0,90$), f_{VE} ($r = 0,93$; $r = 0,95$) et f_{VO_2} ($r = 0,86$; $r = 0,89$) respectivement, indiquant que le COPE-10 est spécifique car il permet d'estimer l'intensité de l'exercice perçu chez l'adolescent obèse. Au cours de l'épreuve sous-maximale, la PE montre des coefficients de corrélation intraclasse de 0,75 en pré-cure et de 0,84 en post-cure, témoignant de la bonne reproductibilité de l'échelle. À l'issue de la prise en charge, on observe une amélioration de la P_{SV2} et de la P_{PE6} (+23 W et +21 W ; $p < 0,001$), ainsi que des corrélations significatives entre FC_{SV2} et FC_{PE6} ($r = 0,93$), attestant la sensibilité des valeurs perceptives.

Le COPE-10 est une échelle valide pour déterminer la perception de l'effort chez l'adolescent obèse. Cet outil peu coûteux et non invasif pourrait être utilisé plus largement dans le domaine de la réhabilitation du jeune obèse.

Validation of a new scale to measure perceived exertion in obese adolescents: the Childhood Obesity Perceived Exertion (COPE-10) scale

Authors

Sylvain Quinart^{a,b}, Alain Gros Lambert^c, Fiona Ecarnot^a, Marie Laure Simon-Rigaud^d, Marie Nicolet-Guénat^e, Véronique Nègre^b, Fabienne Mouglin^a

Affiliations

^a Research unit EA3920, Prognostic marker and regulatory factor of cardiovascular disease ; Exercise Performance Health Innovation platform ; UPFR of sports, University of Franche-Comte, Besançon, France

^b Pediatric Obesity Prevention and Rehabilitation Department, CHRU, Besançon, France

^c Research unit EA4660, Culture Sport Health Society ; UPFR of sports, University of Franche-Comté, Besançon, France

^d Physiology Functional Explorations, CHRU, Besançon, France

^e Childhood Obesity Rehabilitation Centre « La Beline », Salins les Bains, France

Keywords

Obesity
Child
Exercise test
Oxygen consumption
Physical exertion
Reliability and validity
Physical endurance
Heart rate
Respiratory rate
Rating scale

Abstract

The purpose was to examine the validity a measurement scale for perceived exertion, namely the Childhood Obesity Perceived Exertion scale (COPE-10), by evaluating sensitivity, specificity and reliability in obese adolescents.

Thirty obese adolescents (BMI 36.2 ± 0.8 kg.m⁻²), aged 14.2 ± 0.3 years, performed two incremental exercise tests (maximal followed by submaximal) before and after a multidisciplinary obesity management programme. To standardize workload, physiological variables [heart rate (HR), ventilation (VE) and gas exchange (VO₂)] and perceived exertion (RPE) were modelised (f_{HR} , f_{VE} , f_{VO_2} , f_{RPE}). At a rank of 6 on the COPE-10 scale (RPE₆) and at fixed second ventilatory threshold (VT₂), we determined respectively the associated work power (WP_{RPE6}, WP_{VT2}) and HR (HR_{RPE6}, HR_{VT2}).

During maximal exercise, we observed significant correlations between f_{RPE} and each of f_{HR} ($r = 0.88$; $r = 0.90$), f_{VE} ($r = 0.93$; $r = 0.95$) and f_{VO_2} ($r = 0.86$; $r = 0.89$) before and after management respectively, indicating the specificity of the COPE-10 scale to estimate exercise intensity in obese adolescents. During submaximal exercise, we observed intraclass correlation coefficients of 0.75 before and 0.84 after management, showing reliability. After management, WP_{VT2} and WPRPE6 increased significantly (+23W and +21W ; $p < 0.001$), and there was a significant correlation between HR_{VT2} and HR_{RPE6} ($r = 0.93$) showing the sensitivity of this scale to measure perceived exertion.

The COPE-10 scale is a valid tool to measure perceived exertion in obese adolescents. This inexpensive and non-invasive instrument could be widely used in rehabilitation programmes for obese youth.

Introduction

A return to regular exercise at moderate to high intensity, maintained for the long term, is one of the key strategies to preventing and managing childhood obesity (Katzmarzyk et al. 2008; Saavedra et al. 2011; Tremblay et al. 2011). However, the combination of repeated negative experiences, lack of practice, and lack of awareness of their own physical limits (Quinart and Manga-Carrola 2011; Chaput et al. 2013) render this apparently simple recommendation difficult to implement in practice among obese children, particularly in terms of a lasting commitment to appropriate physical activity.

To aid in the implementation of exercise recommendations, rating scales of perceived exertion represent a simple and non-invasive means of quantifying, monitoring and adapting the intensity of exercise (Faulkner and Eston 2008; Schafer et al. 2013). Borg (1982, 1998) was the first author to validate the "Rating of Perceived Exertion scale" (RPE 6-20) and the "Category Ratio scale" (CR-10) in the exercise context, as a psychophysiological measure in healthy adults.

These scales make it possible to rate perceived exertion through numerical and categorical items that identify different levels of perceived effort. Williams et al. (1994) proposed an instrument for use in children, namely the "Children's Effort Rating Table" (CERT), which uses numerical values on a scale from 0 to 10, as well as visual pictograms and verbal expressions describing the difficulty of the exercise. The measure of perceived exertion using this scale during maximal intensity exercise yields information about the state of tiredness of the subject. For example, a child that rates 7 on the CERT is closer to exhaustion than when the score is 5. More recently, Robertson et al. (2000) developed a tool for use in normal-weight children and adolescents called the "Children's OMNI scale", which uses verbal expressions to describe different levels of fatigue. This scale has been validated for use in different types of exercise, such as running (Pfeiffer et al. 2002), cycloergometer test (Robertson et al. 2000), stepping exercise (Robertson et al. 2005b), and weightlifting (Robertson et al. 2005a), and has been shown to be correlated to oxygen consumption (VO₂) and heart rate (HR) (Roemmich et al. 2006).

However, in young obese subjects, who already have significant difficulty engaging in exercise, the use these scales can be associated with a negative opinion of exercise. Indeed, items on a scale mentioning difficulty, tiredness and exhaustion can have negative connotations that contrive to discourage a return to physical activity. It has previously been reported that exertion is not perceived in the same way by adolescents as by adults, and that this is related to the developmental level of the subject (Gros Lambert and Mahon 2006). Consequently, it would appear more appropriate to use a rating scale of perceived exertion that is based on visual items, using the numerical and verbal items from the CR10 focusing on the intensity of exercise, independently of the feeling of tiredness or the level of difficulty.

Methods

The study protocol was approved by the local ethics committee (Comité de Protection des Personnes Est II). All participants and their parents or legal guardians provided written informed consent.

1. Study population

We included 30 adolescents (20 girls, 10 boys), average age 14.2 ± 1.6 years, presenting with obesity (defined according to age as a body mass index (BMI, calculated as weight/height squared) > International Obesity Task Force-30 (Cole et al. 2000) and scheduled to enter a 9-month management and rehabilitation programme. The objective of the obesity management programme was to reduce body weight, based on therapeutic education of the patient (HAS 2011) through multidisciplinary medical care with psychological and dietary support, as well as a return to physical activity. The sessions of adapted physical activity consisted in varied exercises such as cardio circuit training, muscular reinforcement, walking/running, swimming and aqua fitness, team sports, active outings, and school-type physical education lessons, to reach a cumulative total of 60 minutes physical activity per day.

2. Presentation of the “Childhood Obesity Perceived Exertion (COPE-10) scale”

We developed a new scale called COPE-10, which is presented in Figure 1, adapted from Borg’s CR-10 score Borg (1998). This new scale allows evaluation of perceived exertion on a scale ranging from 0 (no perceived exertion) to 10 (perceived as the most intense exertion). Five visual pictograms printed in colour (representing a child at various stages of increasingly intensive physical activity), associated with verbal expressions (0: nothing at all; 0.5: extremely weak; 1: very weak; 2: weak; 3: moderate; 5: strong; 7: very strong; 10: extremely strong) based exclusively on the perception of the effort, allow the obese youth to precisely quantify the intensity of the exercise. To avoid stigmatising the participants, the pictograms of the COPE-10 scale voluntarily portray a normal-weight child who, through his posture and external symptoms (e.g. sweating, breathlessness, facial expression...) is expressing his perception of various levels of exercise intensity.

In this context, we aimed to validate a new scale for rating perceived exertion during adapted exercise in obese adolescents by evaluating (i) specificity, by examining the relation between the perceived exertion score and physiological variables such as heart rate, ventilation minute and oxygen consumption during maximal exercise; (ii) reliability, by comparing to perceived exertion scores in a test-retest procedure performed at 4 levels of sub-maximal intensity; (iii) sensitivity, by comparing for a given perceived exertion score or for a given value of ventilatory response, the effect of a multidisciplinary obesity management programme on external mechanical power and related physiological variables.

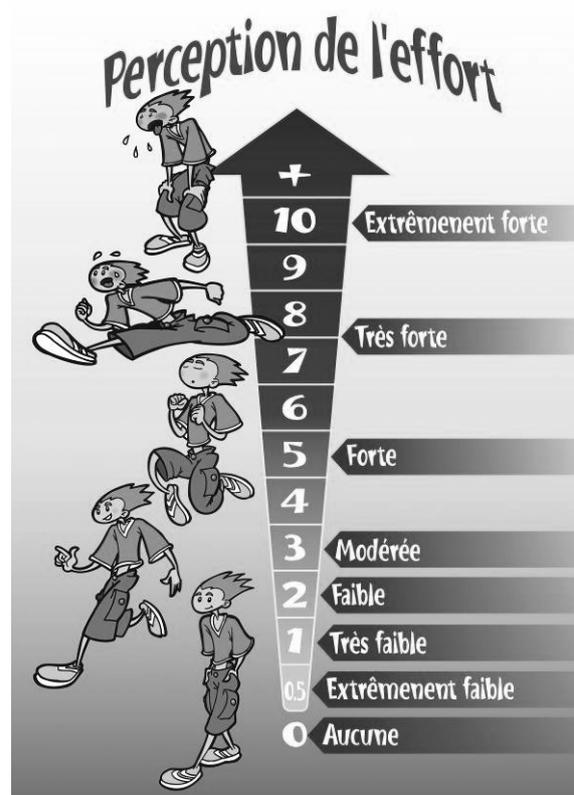


Figure 1. Children Obese’s Perceived Exertion scale

General instructions for the use of the COPE-10 scale

Each subject received the following instructions:
 “In parallel to the exercise test, we would like you to evaluate your own perception of the exercise; in other words, how you rank the intensity of the exercise, at each stage. As you can see, the scale goes from 0, corresponding to “No effort involved”, to 10, corresponding to “Extremely intense effort”, and this should represent the most intensive exertion that you have ever experienced in your whole life. The plus sign “+” is used to indicate exercise that is more intense than anything you ever did before.”

The following three questions were used by the investigator to help the child understand and interpret the principle of the scale and to check that the child had understood correctly:
 “In your opinion, what is the most intensive physical exercise that you ever did in your life?
 What feelings are you going to use during the test to give me a grade between 0 and 10?”

<p>What grade would you give right now (at rest)?"</p> <p>Taking the child's verbal responses to these questions, the investigator then specifies: "Your perception of the exertion generally depends on how out of breath you are, and any sensations in your muscles that you might feel.</p> <p>1 is very light exercise, like walking slowly at your own pace 3 is moderate exercise, but you are doing OK 6 is quite intensive, and you are starting to feel out of breath 9 is very intensive but you can still keep going 10 is the most intensive exercise that you've ever done in your life</p>	<p>Try to grade your feelings as honestly as possible. There is no right or wrong answer. We are just interested in how you feel about the level of exertion required and the effort that it involves for you. Try not to under-estimate or over-estimate your level of exertion.</p> <p>During the test, you can't talk to us, because you will have a mask over your mouth. To show us your grade, just point to the number you choose on the printed scale in front of you. You can choose whole numbers, or intermediate values, such as 0.5, 2.5, 3.5, 4, 7.5...."</p>
---	---

3. Validation of the COPE-10 scale

To validate the COPE-10 scale, we used a method similar to that developed by Gros Lambert et al. (2001).

3.1 Assessment of the specificity of the COPE-10 scale

Using a cycle ergometer (Ergoselect 200K, Ergoline GmbH, 124 Bitz, Germany), each subject performed, both before and after the multidisciplinary management programme, an incremental exercise test until exhaustion, with continuous measure of heart rate (HR) in beats per minute (bpm), ventilation minute (VE), gas exchange (VO_2 , VCO_2) (Ergocard® Medisoft Schiller, Sorinnes, Belgium) to measure maximum power developed (WP_{peak}) and peak oxygen consumption (VO_{2peak}) as previously described in Quinart et al. (2013). Subjective perception of exertion was measured at the end of each incremental level by the subject him-/herself, by pointing to a number on a print-out of the COPE-10 scale attached to the handlebars of the cycle ergometer.

Ventilatory thresholds were determined using the reference method (Wasserman et al. 2011) as the ventilatory equivalents for oxygen (VE/VO_2) and CO_2 (VE/VCO_2) measured breath-by-breath. The first threshold (VT_1) corresponds to the first increase of the VE/VO_2 curve without an increase in the VE/VCO_2 curve. The second threshold (VT_2) corresponds to the first increase in VE/VCO_2 that coincides with a second increase in VE/VO_2 , and these values were used to calculate the HR (HR_{VT_2}) and power (WP_{VT_2}) recorded at this latter threshold.

3.2 Reliability of the COPE-10 scale

To assess reliability of the COPE-10 scale, each subject also performed a sub-maximal incremental cycle ergometer test (re-test) (Physio 4260, Tech Med, France) within one week after each maximal exercise test. The subjects pedalled non-stop for 12 minutes, during which time the workload was increased 3 times (at 3, 6, and 9 minutes), making a total of four workload levels. The starting load was arbitrarily set at 30 watts (W) for girls and 40 W for boys. The increments for the 3 following workload levels were personalised (10, 20, 30 or 40 W) with a view to attaining, at the 4th and last level, the power calculated at VT_2 during the last maximal exercise test.

Subjective perception of the exertion was measured at the end of each of the four levels by the subject by pointing to a number on a print-out of the COPE-10 scale attached to the handlebars of the cycle ergometer.

3.3 Assessment of the sensitivity of the COPE-10 scale

Perceived exertion is sensitive to cardiovascular and respiratory adaptations that occur after a training programme, for a given level of perceived exertion (Coquart et al. 2009) or for a given ventilatory threshold (Noble and Robertson 1996). In this study, at the end of the multidisciplinary management programme, sensitivity of the COPE-10 scale was assessed for a given level of perceived exertion (grade of 6 on the perceived exertion scale) and at a given ventilatory threshold (VT_2), for HR, power, VO_2 and VE. This "6" value was chosen on the basis of Monnier-Benoit et al. (2009), who showed that it was significantly correlated with VT_2 .

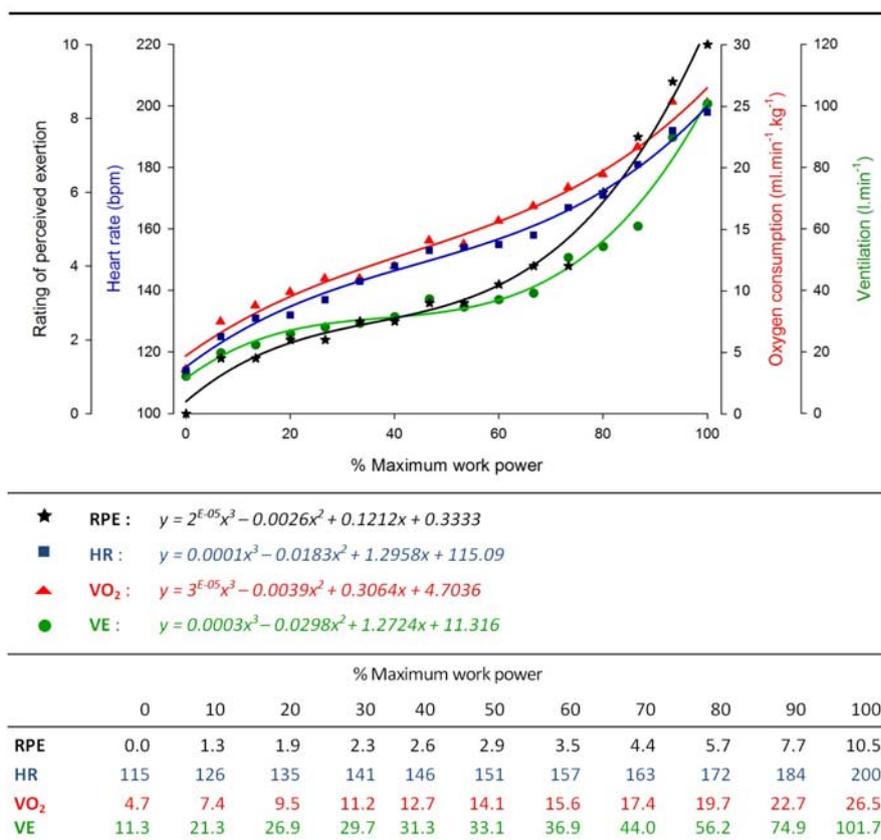
4. Statistical Analysis

All analyses were performed using SigmaPlot 12 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA). A p-value of <0.05 was considered statistically significant. To standardize BMI values for age and sex, the BMI z-score was calculated (CALIMCO2, PNNS, France). Data are presented as mean \pm standard error of the mean (SEM). To standardise workload values, rating of perceived exertion (RPE) and physiological variables (HR, VE and VO_2) were modelised respectively using a 3rd order polynomial equation (f_{RPE} , f_{HR} , f_{VE} , f_{VO_2}) (Figure. 2). After modelisation, data are expressed as a percentage of the maximum power. Normal distribution of the variables was verified using the Kolmogorov-Smirnov test. Spearman's correlation coefficient was calculated to assess correlation between f_{RPE} and each of f_{HR} , f_{VE} , f_{VO_2} and linear regression was performed, on measures from before and after the management programme. Intra-class correlation coefficients were calculated between perceived exertion as reported by the subject during the submaximal exercise test and values estimated based on the f_{RPE} equation for a similar workload during the maximal exercise test.

The impact of the management programme was evaluated using the paired Student T test. Pearson correlation coefficients were calculated respectively between HR, workload, VE and VO_2 associated with VT_2 and at RPE_6 ($f_{RPE} = 6$). The Bland and Altman (2012) method was used to compare these variables at RPE_6 and at VT_2 to assess the presence of potential bias.

Figure 2.

Typical example of the modeling for perceived exertion, heart rate, oxygen consumption and ventilation depending on the workload (expressed as a percentage of the maximum power) in one representative obese adolescent



Results

Specificity: During the incremental exercise, both before and after the management programme, we observed statistically significant positive linear correlations between f_{RPE} and each of f_{HR} , f_{VE} , f_{VO_2} ($p < 0.001$) (Table 1).

Reliability: At both admission and after the 9-month obesity management programme, subject-reported perceived exertion increased at each stage of the submaximal exercise on the test-retest (Table 2). Intra-class correlation coefficients between perceived exertion reported during the submaximal exercise test and those estimated for a similar workload on the maximal exercise test were 0.75 before the management programme, and 0.84 after.

Sensitivity: After the 9-month obesity management programme, body weight and BMI decreased

significantly by (-7.9 kg and -3.9 kg.m², respectively). During exercise, maximum power and peak VO₂ improved (+24.8 W and +6.24 ml.min⁻¹.kg⁻¹, respectively). Workload at RPE₆ and at VT₂ also increased to a similar extent (respectively 20.8 W and 22.9 W) (Table 3).

We observed statistically significant positive correlations between values at a perceived exertion score of 6 on the COPE-10 scale, and values measured at the second ventilatory threshold ($p < 0.001$) for: HR ($r = 0.93$; 0.88 to 0.96), workload ($r = 0.90$; 0.84 to 0.94), VE ($r = 0.70$; 0.54 to 0.81) and VO₂ ($r = 0.94$; 0.89 to 0.96). Bland and Altman analysis showed a small estimation bias (-1.48) with a standard deviation of less than 6 bpm (5.90) between HR measured at RPE₆ and those determined at VT₂ (Figure. 3).

	At admission					At 9 months				
	r	Slope	Intercept	r ²	SEE	r	Slope	Intercept	r ²	SEE
f_{RPE} vs. f_{HR}	0.88 ***	9.36	106.08	0.95	7.42	0.90 ***	10.18	96.95	0.97	6.75
f_{RPE} vs. f_{VE}	0.93 ***	6.96	11.96	0.98	3.44	0.95 ***	7.74	12.78	0.99	3.21
f_{RPE} vs. f_{VO_2}	0.86 ***	1.92	6.31	0.98	0.86	0.89 ***	2.07	6.97	0.98	1.13

Table 1.

Linear regression analysis of RPE (COPE-10) expressed as a function of HR, VE and VO₂ during maximal cycle exercise

HR: Heart Rate; RPE: Rating of Perceived Exertion; VE: ventilation minute; VO₂: oxygen consumption; f_{RPE} , f_{HR} , f_{VE} , f_{VO_2} represent the modelisation of perceived exertion and the physiological variables heart rate, ventilation and gas exchange.

r: Spearman correlation coefficients: *** $p < 0.001$; r²: Coefficient of determination ; SEE: Standard Error of Estimate

Exercise stage	At admission			At 9 months		
	Power output (W)	COPE-10 Test	COPE-10 Retest	Power output (W)	COPE-10 Test	COPE-10 Retest
1	41.50 ± 0.72	2.39 ± 0.25	1.45 ± 0.16	41.33 ± 0.63	1.62 ± 0.16	0.87 ± 0.10
2	70.83 ± 2.17	4.07 ± 0.26	2.90 ± 0.20	73.50 ± 2.02	3.14 ± 0.20	1.93 ± 0.16
3	96.83 ± 3.62	5.76 ± 0.27	4.65 ± 0.23	103.70 ± 3.67	4.87 ± 0.19	3.73 ± 0.17
4	119.80 ± 4.99	7.41 ± 0.28	7.08 ± 0.28	131.70 ± 5.12	6.67 ± 0.19	6.00 ± 0.26

Table 2. Mean and standard error of the mean for test - retest analysis of perceived exertion at each stage of exercise

Data are shown as mean ± Standard Error Mean

Discussion

This is the first study to report the creation and validation of a new scale for measuring perceived exertion adapted to the obese adolescent, with evaluation of the specificity, sensitivity and reliability. To the best of our knowledge, no such scale has been validated to date in a population of obese adolescents. Regarding the specificity of the COPE-10 scale, our study showed that in obese adolescents, there is a positive linear relationship between the perceived exertion and the physiological parameters measured during a maximal exercise test. Such relations have previously been reported in normal-weight children (Robertson et al. 2006; Barkley and Roemmich 2008). At the start of the management programme, we noted a correlation coefficient of 0.88 for HR, which is comparable to the values reported by Roemmich et al. (2006) with the CERT scale (0.86 for girls and 0.92 for boys) and the OMNI-walk/run scale (0.90-0.93), as well as data reported by Balasekaran et al. (2012) using the OMNI-cycle scale (0.98) in normal-weight youths. Similarly, the correlation coefficient of 0.86 for VO₂ is similar to findings by these same authors (0.86-0.94 for CERT ; 0.90-0.94 for OMNI-walk/run ; 0.95 for OMNI-cycle). This suggests that the specificity of the COPE-10 scale is adequate, since the perceived exertion evaluated on this scale is strongly correlated to the various cardio-respiratory parameters involved in the process of adaptation during the test.

In terms of reliability, the COPE-10 yielded an intra-class correlation coefficient of 0.75 before the management programme, and 0.84 afterwards in a population of obese adolescents, showing good agreement between perceived exertion scores on the test-retest procedure. These values are in line with the findings of Fermanian (2005) and those observed by Marinov et al. (2008) in normal-weight youths using the CERT scale (ICC = 0.77), and by Pfeiffer et al. (2002) with OMNI walk/run scale (ICC = 0.95). However, both before and after the management programme, we observed slightly lower perceived exertion scores on the retest. This decrease could be at least partially explained by the environment in which the test-retest procedure was carried out. Indeed, while the initial test was carried out in laboratory conditions, the retest was performed in a less stressful environment: in a sports hall and without the mask.

Table 3.

Anthropometric, maximal and submaximal exercise data in 30 obese adolescents at admission and after a 9-month multidisciplinary obesity management programme

	At admission	At 9 months
<i>Anthropometric data</i>		
Body mass (kg)	95.97 ± 2.46	88.03 ± 2.28 ***
Height (cm)	162.73 ± 1.13	165.25 ± 1.26 ***
BMI (kg.m ⁻²)	36.23 ± 0.83	32.32 ± 0.86 ***
BMI z-score	4.37 ± 0.11	3.55 ± 0.14 ***
<i>Maximal exercise data</i>		
HR _{max} (bpm)	191.10 ± 2.10	190.17 ± 1.77
WP _{peak} (W)	150.17 ± 5.44	175.00 ± 6.07 ***
VE _{peak} (l.min ⁻¹)	87.28 ± 2.81	104.32 ± 3.36 ***
VO _{2peak} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	23.69 ± 0.69	29.94 ± 1.06 ***
RER	1.17 ± 0.01	1.12 ± 0.02 **
RPE _{max}	9.86 ± 0.09	9.85 ± 0.11
<i>Sub-maximal exercise data</i>		
HR _{RPE6} (bpm)	165.33 ± 2.81	159.65 ± 2.74 *
HR _{VT2} (bpm)	166.83 ± 2.42	161.13 ± 2.09 *
WP _{RPE6} (W)	100.06 ± 5.50	120.81 ± 4.63 ***
WP _{VT2} (W)	100.33 ± 4.05	123.17 ± 4.29 ***

BMI: Body Mass Index; BMI Z-score: Z-score of BMI; bpm, beats per minute; HR: Heart Rate; RER: Respiratory Exchange Ratio; RPE: Ratings of Perceived Exertion; VE_{peak}: peak ventilation minute; VO_{2peak}: peak oxygen uptake; VT₂: second ventilatory threshold; WP: Work Power; W, watts.

Data are shown as mean ± Standard Error Mean
Student Test: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

As regards the sensitivity of the COPE-10 scale, we noted that power developed at RPE₆ and at VT₂ increased significantly ($p < 0.001$) between the period before and after the management programme, while HR decreased significantly ($p < 0.05$). These observations are in line with those of Coquart et al. (2009), who showed that an aerobic training programme increased power for a given level of perceived exertion (RPE₆). Furthermore, we observed good correlation (> 0.90) between RPE₆ and VT₂ for power, HR and VO₂, whereas the correlation for VE was moderate ($r = 0.70$). Lastly, Bland and Altman analysis showed a small bias (< 2 bpm), with a standard deviation of < 6 bpm between HR_{RPE6} and HR_{VT2}, which is acceptable in clinical practice. Our results therefore show that the COPE-10 scale is sensitive to change after a 9-month multidisciplinary obesity management programme.

Overall, on the basis of the exercise intensity, the participants in this study were well able to understand the COPE-10 scale and accurately rank their perception

of the exertion on the scale throughout the duration of the exercise. However, it should be noted that a learning curve period, as suggested by Faulkner and Eston (2008) allows the adolescents to estimate and more accurately reproduce their ranking of perceived exertion. This is reflected by the improvement after the management programme in the correlation coefficients between f_{RPE} and f_{HR} , f_{VE} , f_{VO2} (from 0.89 to 0.95) and in the ICC (0.84). Lastly, in order to develop aerobic fitness in obese adolescents, it is recommended not to engage in physical activity at a rate above 6 on the COPE-10 scale.

Our study suffers from certain limitations that deserve to be acknowledged. In particular, the conditions of the test-retest procedure, which was a submaximal exercise performed in conditions that differed from those of the maximal exercise test. Thus, further investigations are necessary to confirm the reliability of the COPE-10 scale during maximal exercise and in standardised conditions.

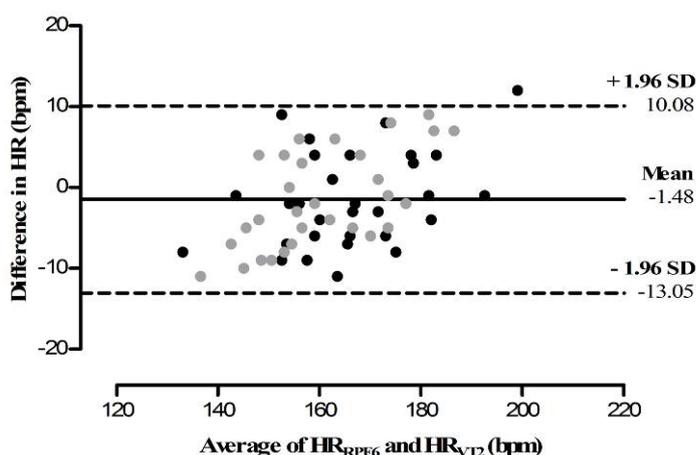


Figure 3.

Bland and Altman plot of the difference between heart rate determined at a score of 6 on the COPE-10 scale (HR_{RPE6}) and heart rate measured at the second ventilatory threshold (HR_{VT2}) versus the mean of the two measures, before (black dots) and after (grey dots) a 9-month obesity management programme ($n = 60$)

Horizontal dotted lines represent the limits of agreement according to the Bland & Altman method, and correspond to ± 1.96 Standard Deviations (SD)

Conclusions

Our findings show that the COPE-10 scale is a valid measure of perceived exertion, which is specific, reliable and sensitive to change in obese adolescents. The COPE-10 is non-invasive and inexpensive, and could be used in clinical practice to evaluate the intensity of exercise. Furthermore, given its sensitivity to change in physical condition, this scale makes it possible to evaluate the impact of obesity management strategies on aerobic fitness in obese adolescents. The COPE-10 scale could therefore represent a useful tool for the development and monitoring of personalised programmes of physical activity for obese adolescents. However, further investigations are warranted to confirm the validation of the COPE-10 scale, particularly in other forms of exercise, such as walking, step aerobics or swimming and in younger obese children.

Acknowledgements

The authors would like to thank all the adolescents who participated in this programme, as well as their parents. We also thank the nurses and physical education teachers at the rehabilitation centre "La Beline" in Salins-les-Bains, as well as the functional explorations and paediatrics departments of the University Hospital of Besancon. Special thanks also to Mr Jean-Luc Bonvalot of the Agence Régionale de Santé (ARS) de Franche Comté for illustrating the COPE-10 scale.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Balasekaran, G., Loh, M.K., Govindaswamy, V.V., and Robertson, R.J. 2012. OMNI Scale of Perceived Exertion: mixed gender and race validation for Singapore children during cycle exercise. *Eur J Appl Physiol.* 112(10): 3533-3546.
- Barkley, J.E., and Roemmich, J.N. 2008. Validity of the CALER and OMNI-bike ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 40(4): 760-766.
- Bland, J.M., and Altman, D.G. 2012. Agreed statistics: measurement method comparison. *Anesthesiology.* 116(1): 182-185.
- Borg, G.A. 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 14(5): 377-381.
- Borg, G.A. 1998. Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics, Champaign, IL.*
- Chaput, J.P., Saunders, T.J., Mathieu, M.E., Henderson, M., Tremblay, M.S., O'Loughlin, J., and 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.
- Cole, T.J., Bellizzi, M.C., Flegal, K.M., and Dietz, W.H. 2000. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ.* 320(7244): 1240-1243.
- Coquart, J.B., Lensel, G., and Garcin, M. 2009. Exertion perception in children and teenagers: Measure and interests. *Sci Sport.* 24(3-4): 137-145.
- Faulkner, J., and Eston, R. 2008. Perceived exertion research in the 21st century: developments, reflections and questions for the future. *Journal of Exercise Science & Fitness.* 6(1): 26-32.
- Fermanian, J. 2005. Validation of assessment scales in physical medicine and rehabilitation: how are psychometric properties determined? *Ann Readapt Med Phys.* 48(6): 281-287.
- Gros Lambert, A., Hintzy, F., Hoffman, M.D., Dugue, B., and Rouillon, J.D. 2001. Validation of a rating scale of perceived exertion in young children. *Int J Sports Med.* 22(2): 116-119.
- Gros Lambert, A., and Mahon, A.D. 2006. Perceived exertion : influence of age and cognitive development. *Sports Med.* 36(11): 911-928.
- HAS. 2011. Recommandation de bonnes pratiques : Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent [online]. http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_964941/fr/surpoids-et-obesite-de-l-enfant-et-de-l-adolescent-actualisation-des-recommandations-2003?xtmc=&xtcr=8 [accessed 21 October 2013].
- Katzmarzyk, P.T., Baur, L.A., Blair, S.N., Lambert, E.V., Oppert, J.M., and Riddoch, C. 2008. International conference on physical activity and obesity in children: summary statement and recommendations. *Appl Physiol Nutr Metab.* 33(2): 371-388.
- Marinov, B., Mandadjieva, S., and Kostianev, S. 2008. Pictorial and verbal category-ratio scales for effort estimation in children. *Child Care Health Dev.* 34(1): 35-43.
- Monnier-Benoit, P., Gros Lambert, A., and Rouillon, J.D. 2009. Determination of the ventilatory threshold with affective valence and perceived exertion in trained cyclists: a preliminary study. *J Strength Cond Res.* 23(6): 1752-1757.
- Pfeiffer, K.A., Pivarnik, J.M., Womack, C.J., Reeves, M.J., and Malina, R.M. 2002. Reliability and validity of the Borg and OMNI rating of perceived exertion scales in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 34(12): 2057-2061.
- Quinart, S., and Manga-Carrola, P. 2011. Physical activity in overweight children: A prescription? *Journal de pédiatrie et de puériculture.* 24(5): 266-271.
- Quinart, S., Mourot, L., Negre, V., Simon-Rigaud, M.L., Nicolet-Guenat, M., Bertrand, A.M., Meneveau, N., and Mougou, F. 2013. Ventilatory Thresholds Determined from HRV: Comparison of 2 Methods in Obese Adolescents. *Int J Sports Med.* In press.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Aaron, D.J., Tessmer, K.A., Gairola, A., Ghigiarelli, J.J., Kowallis, R.A., Thekkada, S., Liu, Y., Randall, C.R., and Weary, K.A. 2006. Observation of perceived exertion in children using the OMNI pictorial scale. *Med Sci Sports Exerc.* 38(1): 158-166.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Andreacci, J.L., Dube, J.J., Rutkowski, J.J., Frazee, K.M., Aaron, D.J., Metz, K.F., Kowallis, R.A., and Snee, B.M. 2005a. Validation of the Children's OMNI-Resistance Exercise Scale of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 37(5): 819-826.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Andreacci, J.L., Dube, J.J., Rutkowski, J.J., Snee, B.M., Kowallis, R.A., Crawford, K., Aaron, D.J., and Metz, K.F. 2005b. Validation of the children's OMNI RPE scale for stepping exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 37(2): 290-298.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Boer, N.F., Peoples, J.A., Foreman, A.J., Dabayeb, I.M., Millich, N.B., Balasekaran, G., Riechman, S.E., Gallagher, J.D., and Thompkins, T. 2000. Children's OMNI scale of perceived exertion: mixed gender and race validation. *Med Sci Sports Exerc.* 32(2): 452-458.
- Roemmich, J.N., Barkley, J.E., Epstein, L.H., Lobarinas, C.L., White, T.M., and Foster, J.H. 2006. Validity of PCERT and OMNI walk/run ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 38(5): 1014-1019.
- Saavedra, J.M., Escalante, Y., and Garcia-Hermoso, A. 2011. Improvement of aerobic fitness in obese children: a meta-analysis. *Int J Pediatr Obes.* 6(3-4): 169-177.
- Schafer, M.A., Goss, F.L., Robertson, R.J., Nagle-Stille, E.F., and Kim, K. 2013. Intensity selection and regulation using the OMNI scale of perceived exertion during intermittent exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 38(9): 960-966.
- Tremblay, M.S., Warburton, D.E., Janssen, I., Paterson, D.H., Latimer, A.E., Rhodes, R.E., Kho, M.E., Hicks, A., Leblanc, A.G., Zehr, L., Murumets, K., and Duggan, M. 2011. New Canadian physical activity guidelines. *Appl Physiol Nutr Metab.* 36(1): 36-46; 47-58.
- Wasserman, K., Hansen, J., Sue, D., Stringer, W., Sietsema, K., Sun, X., and Whipp, B. 2011. Principles of Exercise Testing and Interpretation. 5th edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Williams, J.G., Eston, R., and Furlong, B. 1994. CERT: a perceived exertion scale for young children. *Percept Mot Skills.* 79(3 Pt 2): 1451-1458.

D ***ISCUSSION GÉNÉRALE & PERSPECTIVES***

L'obésité de l'enfant doit être prise en charge le plus précocement possible afin d'éviter les conséquences néfastes du déconditionnement à l'exercice. Ainsi, le développement de tests de terrain adaptés aux contraintes du jeune obèse, d'outils physiologiques, tels que la variabilité de la fréquence cardiaque, les échelles de perception de l'effort, explorant l'endurance cardiorespiratoire, est essentiel pour répondre à un besoin croissant des professionnels de l'activité physique impliqués dans la prise en charge de ces jeunes.

Il nous est donc apparu nécessaire d'étudier la validité de ces outils pour déterminer la capacité cardiorespiratoire et ses variations au cours d'une prise en charge chez des adolescents obèses, afin d'optimiser les programmes de réentraînement.

Dans ce contexte, **l'objectif de notre première publication** a été d'évaluer (i) la validité des indices d'endurance cardiorespiratoire (D12, V_{max}, PMA), déterminés à partir de trois tests de terrain adaptés (TMC-12, TMNA-20, TSMC), comparés à la consommation maximale d'oxygène (VO₂ pic) et la Puissance maximale (P_{max}) enregistrées en laboratoire, (ii) leur sensibilité au changement et leur prédiction du pic de VO₂ après une période de prise en charge pluridisciplinaire chez l'adolescent obèse.

Nos résultats montrent que la prise en charge, associant un accompagnement médical, diététique, psychologique et une activité physique régulière, modifie significativement les paramètres anthropométriques et améliore les variables cardiorespiratoires à l'exercice, mesurées sur le terrain et en laboratoire, comme attestés par d'autres auteurs (Dao *et al.*, 2004a; Dao *et al.*, 2004b; Gueugnon *et al.*, 2011; Mendelson *et al.*, 2012). Après 9 mois de prise en charge, une baisse significative du poids (-7,9 kg), de l'IMC (-3,9 kg.m⁻²), du z-score d'IMC (-0,82) et du rapport tour de taille/taille (-0,05) a été observée. Cette baisse témoigne d'une diminution des facteurs des risques cardiovasculaires.

En laboratoire, la prise en charge s'est accompagnée d'une amélioration des performances cardiorespiratoires sous-maximales et maximales. Les intensités pour lesquelles surviennent les seuils d'adaptation et de désadaptation ventilatoires sont plus élevées (+17,2 W et +22,8 W respectivement). À l'exercice maximal, l'entraînement a augmenté significativement la P_{\max} qu'elle soit exprimée en Watt (+24,8 W) ou en $W \cdot kg^{-1}$ (+0,43), le pic VO_2 qu'il soit exprimé en $L \cdot min^{-1}$ (+0,36) ou en $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ (+6,25). Il améliore aussi le pouls d'oxygène (VO_2/FC : +1,9 $L \cdot min^{-1} \cdot batt^{-1}$), reflet d'une meilleure efficacité du débit cardiaque utile à la consommation d'oxygène périphérique. Par ailleurs, il augmente significativement le débit ventilatoire maximal (+17,0 $L \cdot min^{-1}$) pour une fréquence respiratoire stable, au profit d'une meilleure amplitude respiratoire (volume courant : +287 mL), témoin d'une ventilation plus efficace pour les échanges gazeux par augmentation de la surface d'échange alvéolaire.

Sur le terrain, en adaptant les protocoles de référence, afin de diminuer les contraintes physiologiques et biomécaniques qu'ils imposent, les 3 tests proposés dans ce travail ont bien été tolérés sur le plan clinique par les jeunes obèses, comme en témoigne la bonne adaptation cardiaque mesurée à l'exercice. D12 (m), V_{\max} ($km \cdot h^{-1}$) et PMA ($W \cdot kg^{-1}$) sont significativement corrélées au VO_2 pic et P_{\max} rapportés au poids corporel, témoignant que ces indices de terrain sont valides pour évaluer l'endurance cardiorespiratoire de l'adolescent obèse. De plus, ces corrélations sont obtenues non seulement au début et en fin de prise en charge, indiquant que ces mêmes indices sont sensibles aux variations observées au laboratoire.

Sur le TMC-12, les patients ont réalisé un effort continu et optimal en s'appuyant sur leur propre sensation d'essoufflement et sur les feedback de FC apportés par l'expérimentateur, atteignant une distance moyenne de 1272 m en pré-cure. Ces distances s'approchent de celles retrouvées par Drinkard *et al.* (2001) et Calders *et al.* (2008) qui ont rapporté chez des adolescents obèses une distance moyenne de 1174 m et de 1362 m respectivement. Par ailleurs, comme Calders *et al.* (2008) nous observons de meilleures corrélations entre le VO_2 pic et D12 après la prise en charge, soulignant

que l'entraînement améliore la prédiction du VO_2 pic. Toutefois, les corrélations de 0,70 en pré- et de 0,82 en post-cure obtenues dans notre étude sont supérieures à celles de Calders *et al.* ($r = 0,63$ et $0,72$ respectivement). Ainsi, le TMC-12 apprécie correctement l'endurance du sujet et a l'avantage d'être sous-maximal (FC atteinte en fin du test inférieure à 85% FCmaxTh).

Sur le TMNA-20, nos sujets ont atteint une vitesse maximale moyenne de $7,9 \text{ km.h}^{-1}$ en pré-cure, soit une vitesse inférieure de $1,4 \text{ km.h}^{-1}$ à celle imposée à la vitesse de départ ($8,5 \text{ km.h}^{-1}$) du 20MST original. Ces résultats indiquent qu'il est nécessaire de réduire la vitesse de départ afin de ralentir la vitesse de course tout au long de l'épreuve. D'ailleurs, Castro-Pineiro *et al.* (2011), en comparant des groupes d'enfants de statut pondéral différent, ont montré que des jeunes en surpoids étaient peu performants sur le 20MST. Dans notre étude, il n'aurait pas été possible d'évaluer l'aptitude de nos sujets par l'ISWT tel que proposé par Klijn *et al.* (2007) chez des adolescents obèses, puisqu'ils ont atteint, pour les meilleurs, une vitesse maximale supérieure à 12 km.h^{-1} en fin de prise en charge. C'est pourquoi, l'utilisation du TMNA-20, qui démarre à 4 km.h^{-1} , incrémenté de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ et qui rejoint le 20MST au 10^{ème} palier (à $8,5 \text{ km.h}^{-1}$), nous a paru pertinent en pratique clinique pour se rapprocher au mieux du test original (Leger *et al.*, 1988). Réduire la vitesse de démarrage permet aux jeunes obèses d'investir en toute sécurité la course à pied et d'atteindre progressivement leur capacité maximale. La V_{max} déterminée par le TMNA-20 montre des coefficients de corrélation élevés avec le VO_2 pic de laboratoire ($r = 0,81$), valeurs qui sont similaires à celles obtenues par Leger *et al.* ($r = 0,76$) chez des jeunes sportifs et par Klijn *et al.* ($r = 0,79$) chez des jeunes obèses. Cela suggère que notre version adaptée du test est fiable dans une population d'adolescents obèses et mesure avec précision les mêmes paramètres que le test original.

En raison des limites cardio-respiratoires et d'un manque de motivation, le sujet obèse, de surcroît sédentaire, a des difficultés à réaliser un exercice jusqu'à épuisement. Ainsi, les modalités du TSMC s'approchent de celles de l'épreuve d'effort d'aptitude en laboratoire, mais les intensités sont sous-

maximales, ce qui rend ce test accessible à cette population. Par ailleurs, il est particulièrement bien adapté aux jeunes obèses puisque, lors de sa réalisation, ils ne portent pas leur poids et que le pédalage est un pattern mécanique simple. L'inconvénient est qu'un seul sujet peut être évalué à la fois. Néanmoins, le TSMC permet d'évaluer aisément les sujets qui présenteraient, lors de la marche ou de la course, des douleurs musculo-squelettiques au niveau des membres inférieurs. De plus, les corrélations élevées retrouvées entre la PMA et les valeurs du laboratoire témoignent de la validité de ce test, comme l'ont démontré Wallman & Campbell (2007) chez l'adulte obèse.

Les erreurs dans la prédiction des VO_2 pic déterminées par l'analyse de Bland et Altman sur les deux tests de marche (TMC-12, TMNA-20) sont sans doute dues au déplacement d'une plus grande masse corporelle, à l'origine d'un coût énergétique supérieur. (Peyrot *et al.*, 2009) Les équations de référence (Cooper, 1968; Leger *et al.*, 1988) ne sont donc pas adaptées à une population d'adolescents obèses. Moreira *et al.* (2011) ont montré que les équations intégrant les paramètres anthropométriques des sujets ont une meilleure sensibilité pour prédire le VO_2 pic. Dans notre étude, l'IMC est négativement corrélé à D12 et V_{max} . Ce paramètre anthropométrique facilement mesurable, devrait être pris en compte pour l'élaboration d'équations de prédiction spécifiques à cette population.

L'intérêt majeur de ce premier travail réside dans la proposition de nouvelles équations, permettant, à partir des indices de terrain, de prédire le VO_2 pic chez l'adolescent obèse. Un faible biais d'estimation (moyenne proche de zéro) et de bonnes déviations standards ($< 3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) entre le VO_2 mesuré dans le cadre du laboratoire, et le VO_2 estimé par nos équations de prédiction révisées ont été observés. De plus, les coefficients de corrélation multiple supérieurs à 0,75 soulignent la validité des équations de prédiction. Vanhelst *et al.* (2013) ont récemment validé une équation intégrant l'IMC pour la prédiction du VO_2 pic sur le test de marche de 6 min. En revanche, peu de travaux ont considéré l'IMC pour améliorer cette prédiction sur le test de marche de 12 min. Par

ailleurs, plusieurs auteurs ont suggéré des modèles de régression intégrant l'IMC dans l'estimation du VO_2 pic pour le 20MST (Matsuzaka *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2008; Mahar *et al.*, 2011). Toutefois, leurs équations ont été validées dans une population générale avec peu ou pas d'adolescents obèses, et pour des V_{max} allant de 8,5 à 18 $km \cdot h^{-1}$ qui de surcroît ne sont pas valides pour des vitesses inférieures, comme celles imposées par le TMNA-20. Ainsi, nos résultats démontrent qu'il est possible d'évaluer la capacité cardiorespiratoire du jeune obèse sur le terrain, à partir de nouvelles équations de prédiction sur le TMC-12 ou le TMNA-20. Pour l'épreuve sur ergocycle, l'équation proposée par l'American College Sport Medicine (ACSM, 2009) permet, quant à elle, une bonne prédiction du VO_2 pic et peut donc être utilisée pour le TSMC chez l'adolescent obèse.

Toutefois, il est important de noter que le test de laboratoire effectué sur cyclo-ergomètre mobilise moins de masse musculaire par rapport aux deux tests de marche/course réalisés sur le terrain. Par conséquent, nous ne pouvons pas exclure que l'utilisation d'un tapis roulant pour le test d'effort maximal en laboratoire pourrait entraîner des résultats différents.

Ce premier travail démontre que les tests de Marche/course en 12 minutes (TMC12), de Marche/course Navette sur 20m (TMN20) et Sous-Maximal sur Cycloergomètre en 4 paliers (TSMC) sont simples à administrer à une population d'adolescents obèses et permettent de déterminer de manière objective, sur le terrain, des indices d'endurance cardiorespiratoire. Ces 3 tests devraient être préconisés dans le suivi du jeune obèse compte tenu de leurs sensibilités aux variations de la condition physique, et ainsi permettre de mesurer plus aisément l'impact d'une prise en charge sur la santé cardiorespiratoire du jeune obèse. Par ailleurs, nos résultats confirment que l'équation proposée par l'ACSM (2009) pour le test sur ergocycle est valide pour la prédiction du VO_2 pic chez les jeunes obèses. Parallèlement, il est maintenant possible d'estimer le VO_2 pic à partir de nouvelles équations respectivement associées aux 2 tests de marche. Ces équations méritent toutefois d'être vérifiées sur un échantillon plus grand et approfondies en comparant les VO_2 pic estimés lors des tests de terrain à ceux mesurés, par exemple, grâce aux échanges gazeux par télémétrie (type

K4b²®). Les modalités de ces trois tests d'aptitude pourraient être utilisées plus largement dans les programmes d'évaluation de la condition des adolescents. Au regard de l'épidémie d'obésité dans les pays développés ou en voie de développement, le TMNA pourrait par exemple remplacer le 20MST dans les batteries de test, afin de mesurer convenablement la forme physique des jeunes sédentaires. Ainsi, le dépistage d'une faible capacité cardiorespiratoire devrait conduire à l'élaboration de programme d'activité physique personnalisé à des fins de santé.

Pour compléter ce premier travail, nous nous sommes intéressés à la variabilité de la fréquence cardiaque, déjà très utilisée dans le milieu sportif, comme outil pour déterminer des indices d'entraînement sous-maximaux. **L'objectif de la seconde publication** a donc été d'étudier la fiabilité de deux méthodes d'analyse de la VFC pour définir les seuils ventilatoires chez ces adolescents. Ainsi nous avons, i) comparé les fréquences cardiaques et les puissances associées aux seuils de la VFC à celles obtenues par la méthode de référence, basée sur les échanges gazeux ; ii) évalué la réponse de ces seuils ainsi déterminés à l'issue d'une prise en charge pluridisciplinaire.

La détection, par l'analyse temporelle de la VFC, du retrait de l'activité vagale au cours d'un exercice incrémenté, est aujourd'hui bien documentée (Shibata *et al.*, 2002; Karapetian *et al.*, 2008). Karapetian *et al.* (2008) suggèrent que ce retrait vagal chez des sujets sains coïncide avec le seuil lactique et l'augmentation brutale de la ventilation. Dans notre étude, les corrélations observées entre SV_{FC_T} et SV_2 sont significatives, mais avec un biais systématique très important, discréditant cette méthode pour la détermination de SV_2 . Ce seuil se rapprocherait plus de SV_1 . D'ailleurs, les corrélations entre les puissances à $SFVC_T$ et SV_1 sont proches de celles retrouvées par Sales *et al.* (2011) ($r = 0,74$ vs $0,83$) chez des patients diabétiques. Elles sont aussi similaires, en termes de FC, à celles retrouvées par Mourot *et al.* (2012) ($r = 0,66$ vs $0,61$) chez des patients cardiaques. Néanmoins, les déviations standards observées entre $SFVC_T$ et SV_1 , de l'ordre de ± 11 bpm sont médiocres. Cela peut s'expliquer par le fait que chaque valeur de rMSSD renvoie à une FC qui est la moyenne d'une

série d'intervalles R-R de 60 secondes, qui elle-même est représentative de 3 minutes d'exercice à intensité constante. L'augmentation de la FC au cours d'un palier, qui peut atteindre plus 15 bpm, contribue probablement au manque de précision de cette méthode d'analyse. En conséquence, il a été possible d'estimer la FC à SV_1 avec moins de 5 bpm d'écart par rapport à la méthode de référence chez seulement 62,5% de nos sujets. En pratique clinique, cette méthode temporelle ne semble pas suffisamment précise pour déterminer le premier seuil ventilatoire.

Par ailleurs, l'analyse fréquentielle en temps variant de la VFC a été validée comme une méthode permettant d'estimer non seulement SV_1 mais aussi SV_2 (Cottin *et al.*, 2006; Buchheit *et al.*, 2007). Le calcul de la puissance des Hautes Fréquences et de la fréquence des pics associés aux HF, fournit des indices sur les modifications du volume courant et de la fréquence respiratoire instantanés, sans que l'utilisation d'appareils de mesure de la respiration ne soit nécessaire (Blain *et al.*, 2005). L'évolution du produit de HF et fHF ($\ln[f_{HFm} \cdot HF_p]$ dans notre étude) au cours d'un exercice incrémenté décrit une courbe en "U" : il diminue jusqu'à un premier seuil ($SVFC_{F1}$) avec la diminution de l'activité parasympathique associée à une augmentation de la fréquence respiratoire ; puis augmente fortement à partir d'un second seuil ($SVFC_{F2}$), stimulé par l'hyperpnée provoquant un effet mécanique sur le nœud sinusal (Buchheit *et al.*, 2007). Les corrélations observées dans la présente étude pour les puissances à $SVFC_{F1}$ et SV_1 et à $SVFC_{F2}$ et SV_2 sont similaires à celles retrouvées par Cottin *et al.* (2006) chez des sujets sains (P_{SV1} et P_{F1} : $r = 0,97$ vs $0,91$; P_{SV2} et P_{F2} : $r = 0,98$ vs $0,93$). Exprimées en FC, elles sont également proches de celles retrouvées par Mourot *et al.* (2012) chez des patients cardiaques ($FC1$ et $SVFC_{F1}$: $r = 0,78$ vs $0,91$; $FC2$ et $SVFC_{F2}$: $r = 0,95$ vs $0,91$). L'ensemble de ces corrélations sont très supérieures à celles obtenues par la méthode temporelle. Cela est sans doute dû au fait que la FC déterminée avec la méthode fréquentielle correspond à une valeur moyenne toutes les 3 secondes, ce qui permet d'avoir une résolution temporelle plus fine et donc de s'approcher de manière plus précise de la vraie valeur de la FC aux seuils. De plus, nos résultats montrent qu'il est possible d'estimer avec précision les puissances à SV_1 et SV_2 , puisqu'elles sont

retrouvées chez 85% et 77,5% des patients respectivement, avec moins de 10 watt de différence comparativement à la méthode de référence. De la même façon, en ce qui concerne la FC au second seuil, elle est obtenue chez 80% des patients avec moins de 5 bpm de différence. Cependant, au SV_1 , cette observation est retrouvée seulement chez 67,5% des patients témoignant d'une moindre fiabilité de cette méthode pour ce seuil.

En outre, bien que l'on enregistre des informations cardiaques, $\ln(f_{HFm} \cdot HF_p)$ reflète directement les informations provenant du système respiratoire au cours de l'exercice. Ce n'est pas le cas de la méthode dans le domaine temporel, qui renvoie à des informations provenant de l'ensemble du système neurovégétatif pendant l'exercice (Warren *et al.*, 1997). Comme il n'existe actuellement aucune preuve solide montrant que le système nerveux autonome est impliqué dans la survenue des seuils ventilatoires, il semble logique que la méthode dans le domaine temporel soit moins en mesure d'obtenir une bonne estimation de l'un ou l'autre seuil ventilatoire. Nos résultats suggèrent que l'analyse de la VFC dans le domaine fréquentiel est une méthode plus fiable pour l'estimation des seuils ventilatoires chez l'adolescent obèse.

Si l'on s'intéresse aux puissances associées aux seuils déterminées par la VFC entre pré- et post-cure, on remarque qu'elles augmentent dans le même ordre de grandeur que celles déterminées par la méthode de référence. En effet, P_{SV2} et P_{F2} se sont améliorées respectivement de $17,6 \pm 2,2\%$ et $17,1 \pm 3,0\%$. La sensibilité s'avère toutefois un peu plus faible si l'on compare P_{SV1} et P_{F1} qui s'améliorent respectivement de $22,0 \pm 2,4\%$ et $14,9 \pm 2,6\%$. Ces pourcentages restent toutefois supérieurs à l'amélioration de $13,5 \pm 5,1\%$ observée pour P_T qui représente normalement SV_1 . À notre connaissance, aucune étude n'a investigué l'impact d'une telle prise en charge sur l'évolution des seuils déterminés par la VFC. Nos résultats suggèrent que la méthode fréquentielle en temps variant que nous avons utilisée semble adaptée pour quantifier l'évolution de l'aptitude physique du sujet obèse au cours d'un entraînement.

Notre étude présente néanmoins quelques limites, notamment sur les modalités du protocole utilisées lors de l'épreuve d'effort. Afin d'obtenir des intervalles R-R stables pour la détermination de $SVFC_T$, nous avons proposé un protocole mixte, combinant des paliers de 3 minutes en début d'épreuve puis de 1 minute, différent du protocole en rampe recommandé pour obtenir une meilleure détection de SV_1 et SV_2 (ACSM, 2009). À notre connaissance, l'effet du type d'incrémentations sur la détermination des seuils par l'analyse de la VFC n'a jamais été étudié. Par ailleurs, en dépit du fait qu'au moins deux observateurs indépendants, parfois trois, sont nécessaires pour établir correctement les seuils à partir de l'analyse de la variabilité du rythme cardiaque, ce jugement reste subjectif et dépendant de l'opérateur. Toutefois, le coefficient de corrélation intraclasse pour $SVFC_T$ et $SVFC_{F_2}$ était supérieur à 0,9 ce qui pourrait être considéré comme élevé et d'ailleurs similaire à l'ICC pour les seuils ventilatoires déterminés à partir de la méthode de référence. Seule l'ICC pour $SVFC_{F_1}$, qui se situait entre 0,80 et 0,90, peut être considéré comme modéré.

Ce second travail démontre que la méthode d'analyse fréquentielle en temps variant de la VFC est plus fiable que la méthode temporelle, pour déterminer les seuils ventilatoires chez l'adolescent obèse. Comme chez le sujet normo-pondéré, la méthode d'analyse fréquentielle en temps variant, permet la détermination des FC et des puissances associées à SV_1 et SV_2 avec suffisamment de précision. Elle pourrait se substituer à la méthode de référence reposant sur la mesure des échanges gazeux. De plus, elle est sensible à l'entraînement, ce qui renforce son intérêt en pratique courante dans le domaine de la réhabilitation. Ainsi, tout comme les tests de terrain, cet outil pourrait être utilisé plus largement dans la prise en charge de l'obésité pédiatrique. Néanmoins, pour faciliter l'accès à l'analyse fréquentielle de la VFC, le développement de logiciels informatiques permettant le traitement du signal R-R en temps réel, ainsi que des critères objectifs communément partagés pour la détermination des deux seuils de VFC, reste une étape importante. Des études complémentaires sont nécessaires pour vérifier si des programmes d'entraînement individualisés basés sur des indices de la VFC permettraient d'optimiser l'exercice physique, en particulier sur les facteurs de risques cardiovasculaire, la composition corporelle ou encore l'oxydation lipidique.

Selon le type d'entraînement, la graduation de l'intensité d'exercice a une importance majeure. C'est la raison pour laquelle pour compléter ce second travail, nous nous sommes intéressés à la perception de l'effort permettant de quantifier plus finement l'intensité d'exercice. **L'objectif de notre troisième publication** a été de valider une échelle de perception de l'effort adaptée à l'adolescent obèse, en étudiant (i) sa spécificité par les relations existantes entre le niveau de perception de l'effort et différentes variables physiologiques telles que la fréquence cardiaque, le débit ventilatoire et la consommation d'oxygène au cours d'une épreuve d'effort maximale; (ii) sa reproductibilité par comparaison aux réponses perceptives lors d'une procédure de test-retest réalisée à 4 intensités de travail sous-maximale (TSMC) ; (iii) sa sensibilité par l'étude à un niveau de perception de l'effort ou de réponse ventilatoire donnée, des effets d'un programme d'intervention pluridisciplinaire sur la puissance mécanique externe et différentes variables physiologiques.

Concernant la spécificité du COPE-10, notre étude a montré chez l'enfant obèse une relation linéaire positive entre les réponses perceptives et les variables physiologiques mesurées (FC, VE, VO₂) au cours d'une épreuve d'effort maximale. Ces relations ont déjà été rapportées chez l'enfant normo-pondéré (Robertson *et al.*, 2006; Barkley & Roemmich, 2008). Dès le début de la prise en charge, nous observons un coefficient de corrélation pour la FC de 0,88, valeur comparable à celles rapportées par Roemmich *et al.* (2006) avec les échelles CERT (0,86 pour les filles et 0,92 pour les garçons) et OMNI-walk/run (0,90-0,93), ainsi qu'à celle de Balasekaran *et al.* (2012) avec l'OMNI-cycle (0,98) chez des jeunes normo-pondérés. De plus, le coefficient de corrélation pour la consommation d'oxygène de 0,86 observé dans notre étude est proche de ceux de ces mêmes auteurs (0,86-0,94 pour CERT ; 0,90-0,94 pour OMNI-walk/run ; 0,95 pour OMNI-cycle). Ces résultats suggèrent que le COPE-10 est spécifique car les valeurs perceptives sont très fortement corrélées aux différentes variables cardiorespiratoires impliquées dans les adaptations à l'exercice.

Concernant la reproductibilité du COPE-10, les ICC de 0,75 en pré-cure et 0,84 en post-cure ont montré, chez les jeunes obèses, de bons accords pour les valeurs perceptives évaluées lors de la procédure test-retest. Ces valeurs sont comparables à celles observées par Marinov *et al.* (2008) chez des jeunes normo-pondérés sur l'échelle CERT (ICC = 0,77) et par Pfeiffer *et al.* (2002) sur l'échelle OMNI walk/run (ICC = 0,95). On observe toutefois, en pré- comme en post-cure, une diminution des valeurs de perception de l'effort lors du retest. Cette baisse pourrait s'expliquer par l'environnement. En effet, contrairement au premier test réalisé en laboratoire, le retest a été conduit dans un environnement plus familier (salle de sport) et moins contraignant (absence de mesure des échanges gazeux).

Concernant la sensibilité du COPE-10, les puissances développées à la PE_6 et au SV_2 ont augmenté ($p < 0,001$) de manière similaire entre la pré- et la post-cure ; les FC s'abaissent quant à elles, de manière significative ($p < 0,05$). Ces résultats sont en accord avec ceux de Coquart *et al.* (2009) qui ont démontré qu'un programme d'entraînement aérobic augmente la puissance de travail à une valeur de perception donnée (PE_6). Par ailleurs, de bonnes corrélations ($r > 0,90$) entre la PE_6 et le SV_2 sont retrouvées pour les puissances, tout comme pour les FC et les VO_2 , alors que pour les VE, la corrélation est plus modérée ($r = 0,70$). Enfin, l'analyse de Bland et Altman montre un faible biais (< 2 bpm) et une déviation standard de moins de 6 bpm entre FC_{PE_6} et FC_{SV_2} , valeurs qui apparaissent tout à fait acceptables en pratique clinique. Nos résultats montrent donc bien que l'échelle COPE-10 est sensible à l'entraînement.

L'originalité de ce travail réside dans la création et la validation d'une échelle de perception de l'effort adaptée à l'adolescent obèse en évaluant sa spécificité, sa reproductibilité et sa sensibilité. A notre connaissance, dans la littérature, aucune échelle n'a été validée auprès d'une population de jeunes obèses. D'une manière générale, en prenant en compte leur propre sensation (essoufflement, douleurs musculaires), les adolescents obèses ont la possibilité de bien comprendre l'échelle COPE-10

et de situer avec précision leur perception de l'effort tout au long de l'exercice. Toutefois, il est à noter qu'une période d'apprentissage, comme suggéré par Faulkner & Eston (2008), permet à ces adolescents d'estimer et de reproduire plus finement leur perception de l'effort comme attesté par l'amélioration en post-cure des coefficients de corrélation entre f_{PE} et f_{FC} , f_{VE} , f_{VO2} (entre 0,89 et 0,95) et de l'ICC (0,84). Par ailleurs, afin de développer la filière aérobie chez l'adolescent obèse, il serait recommandé de ne pas pratiquer des exercices physiques supérieurs à « 6 » sur notre échelle.

Notre étude présente néanmoins certaines limites, notamment sur les modalités du retest. En effet, ce test est sous maximal et a été réalisé dans un environnement différent de celui du test maximal. Ainsi, des investigations complémentaires sont nécessaires pour confirmer la reproductibilité de l'échelle COPE-10 lors d'exercices maximaux et dans des conditions environnementales standardisées.

Les résultats de ce troisième travail montrent que le « Childhood Obesity Perceived Exertion Scale » est une échelle de perception de l'effort spécifique, reproductible et sensible à l'entraînement chez l'adolescent obèse. Les difficultés liées à l'image corporelle chez ces jeunes font de la perception de l'effort un outil prometteur dans la reprise d'une activité physique. Être à l'écoute de ses propres sensations ou apprendre à gérer un effort physique sont, sur le plan pédagogique, des éléments importants notamment pour se réapproprier ce corps « trop souvent délaissé » comme l'évoquent certains adolescents. L'utilisation du COPE-10 dans d'autres formes d'exercices : marche, step, natation..., dans l'élaboration et la régulation des programmes d'activités physiques « calibrés » sur leurs propres sensations devraient progressivement aider ces jeunes à devenir autonomes dans leur pratique physique.

***C*ONCLUSION GÉNÉRALE**

L'activité physique se situe au cœur de la prévention du surpoids et de l'accompagnement du jeune obèse. Toutefois, comprendre les processus qui le conduisent à être sédentaire et appréhender les difficultés qu'il rencontre face à l'activité physique est essentiel dans son accompagnement. Une condition physique médiocre, une mauvaise estime de soi et la stigmatisation le place dans un cercle vicieux qui le conduit à diminuer ses pratiques physiques. La prise en charge par l'activité physique adaptée a pour objectif de modifier durablement ses comportements ainsi que les habitudes familiales, afin de permettre au jeune de devenir autonome dans ses activités quotidiennes, ses pratiques sportives et ainsi être acteur de sa santé sociale, psychique et physique. Ainsi, afin d'évaluer les conséquences physiopathologiques de l'excès de poids et organiser des stratégies de prise en charge pour optimiser les dépenses énergétiques, une évaluation régulière de l'endurance cardiorespiratoire est nécessaire.

L'ensemble des outils d'évaluation non invasifs, peu coûteux, simples de réalisation, de compréhension et d'interprétation, développés dans ce travail, présentent un intérêt majeur en pratique clinique. Ils sont facilement accessibles par les professionnels de l'activité physique pour quantifier l'intensité de l'exercice. Selon les limites biomécaniques que présente le jeune en surpoids et l'environnement dont disposent ces professionnels (ergocycle ou piste d'athlétisme, passage en individuel ou en groupe), ils pourraient, en combinant ces outils, explorer la capacité aérobie et déterminer des intensités d'entraînement, en vue d'élaborer et de réguler des programmes d'entraînement personnalisés. De plus, compte tenu de leurs sensibilités aux variations de la condition physique, ces outils permettraient de mesurer plus aisément l'impact d'une prise en charge sur la santé cardiorespiratoire des jeunes obèses.

Ainsi, bien que non-exhaustives, il est possible de proposer des recommandations pratiques pour l'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire chez l'adolescent obèse, selon le contexte de prise en charge.

Dans un contexte d'hospitalisation de jour ou d'entrée dans un service en Soins de Suite et de Réadaptation pédiatrique, il est recommandé, en bilan initial, de proposer le Test Sous-Maximal sur Cycloergomètre, couplé au COPE-10 et à un enregistrement de la Variabilité de la Fréquence Cardiaque. Ces mesures évaluent non seulement le niveau de déconditionnement (estimation de la puissance maximale aérobie et de la consommation maximale d'oxygène comparés aux normes théoriques en fonction de l'âge et du sexe) mais permettent aussi de proposer un réentraînement adapté à partir de puissances sous-maximales proches des seuils ventilatoires.

Pour un suivi régulier sur le terrain, notamment dans le cadre d'ateliers d'activités physiques adaptées, il est recommandé de réaliser le Test de Marche Navette Adaptée, couplé à l'échelle de perception de l'effort. L'amélioration de la vitesse maximale atteinte, indice d'endurance cardiorespiratoire, est un marqueur d'une prise en charge de qualité. Sur le plan pédagogique, ce test progressif permet au jeune de mieux ressentir les difficultés liées aux contraintes de l'exercice et ainsi de mieux gérer l'intensité lors de pratiques physiques.

En amont du traitement de l'obésité sévère dans les centres spécialisés, un travail coordonné entre les professionnels de la santé, de l'éducation et des activités physiques doit permettre la mise en œuvre d'actions ciblées orientées vers la promotion des activités physiques et sportives chez des enfants atteints de pathologies chroniques. Les enseignants d'Éducation Physique et Sportive représentent, entre autre, des acteurs privilégiés dans ces actions de prévention. En proposant des pratiques adaptées aux caractéristiques de chacun, en particulier à celles des jeunes sédentaires, ces derniers s'approprient plus facilement les bénéfices que procurent ces activités physiques sur leur propre corps, leur bien-être, leur santé et donc leur qualité de vie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A -

- ACSM (2009) American College of Sports Medicine - ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th edition. *Lippincott Williams & Wilkins*, Philadelphia.
- Agras WS, Mascola AJ (2005) Risk factors for childhood overweight. *Curr Opin Pediatr* 17(5):648-652.
- Ahmaidi SB, Varray AL, Savy-Pacaux AM, Prefaut CG (1993) Cardiorespiratory fitness evaluation by the shuttle test in asthmatic subjects during aerobic training. *Chest* 103(4):1135-1141.
- Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, Bassett DR, Jr., Schmitz KH, Emplaincourt PO, Jacobs DR, Jr., Leon AS (2000) Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 32(9):S498-504.
- Aires L, Andersen LB, Mendonca D, Martins C, Silva G, Mota J (2010) A 3-year longitudinal analysis of changes in fitness, physical activity, fatness and screen time. *Acta Paediatr* 99(1):140-144.
- APOP (2008) Activité physique et obésité de l'enfant - Bases pour une prescription adaptée. Groupe de travail activité physique de l'Association pour la Prise en charge et la prévention de l'Obésité en Pédiatrie - Synthèse du PNNS. *Ministère de la Santé*, Paris.
- Astrand PO, Ryhming I (1954) A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J Appl Physiol* 7(2):218-221.
- Atlantis E, Barnes EH, Singh MA (2006) Efficacy of exercise for treating overweight in children and adolescents: a systematic review. *Int J Obes (Lond)* 30(7):1027-1040.

- B -

- Baker JL, Farpour-Lambert NJ, Nowicka P, Pietrobelli A, Weiss R (2010) Evaluation of the overweight/obese child-practical tips for the primary health care provider: recommendations from the Childhood Obesity Task Force of the European Association for the Study of Obesity. *Obes Facts* 3(2):131-137.
- Balasekaran G, Loh MK, Govindaswamy VV, Robertson RJ (2012) OMNI Scale of Perceived Exertion: mixed gender and race validation for Singapore children during cycle exercise. *Eur J Appl Physiol* 112(10):3533-3546.
- Barkley JE, Roemmich JN (2008) Validity of the CALER and OMNI-bike ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 40(4):760-766.
- Barnett LM, van Beurden E, Morgan PJ, Brooks LO, Beard JR (2009) Childhood motor skill proficiency as a predictor of adolescent physical activity. *J Adolesc Health* 44(3):252-259.
- Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, Voss A (2006) Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clin J Sport Med* 16(5):412-417.
- Beckerman H, Roebroek ME, Lankhorst GJ, Becher JG, Bezemer PD, Verbeek AL (2001) Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. *Qual Life Res* 10(7):571-578.
- Belanger K, Breithaupt P, Ferraro ZM, Barrowman N, Rutherford J, Hadjiyannakis S, Colley RC, Adamo KB (2013) Do obese children perceive submaximal and maximal exertion differently? *Clin Med Insights Pediatr* 7:35-40.
- Berge JM (2009) A review of familial correlates of child and adolescent obesity: what has the 21st century taught us so far? *Int J Adolesc Med Health* 21(4):457-483.
- Berthoin S, Baquet G, Leger L. Performance aérobie. *Édité par Van Praagh E (2007) dans Physiologie du sport - Enfant et adolescent. De Boeck Université, Bruxelles. p 167-179.*

- Birch LL, Fisher JO (2000) Mothers' child-feeding practices influence daughters' eating and weight. *Am J Clin Nutr* 71(5):1054-1061.
- Blain G, Meste O, Bermon S (2005) Influences of breathing patterns on respiratory sinus arrhythmia in humans during exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 288(2):887-895.
- Blaine B (2008) Does depression cause obesity?: A meta-analysis of longitudinal studies of depression and weight control. *J Health Psychol* 13(8):1190-1197.
- Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1(8476):307-310.
- Bland JM, Altman DG (2012) Agreed statistics: measurement method comparison. *Anesthesiology* 116(1):182-185.
- Blohm D, Ploch T, Apelt S (2012) Efficacy of exercise therapy to reduce cardiometabolic risk factors in overweight and obese children and adolescents: a systematic review. *Dtsch Med Wochenschr* 137(50):2631-2636.
- Boisseau N. Adaptations métaboliques à l'exercice chez l'enfant et l'adolescent. *Edité par Van Praagh E (2007) dans Physiologie du sport - Enfant et adolescent. De Boeck Université, Bruxelles.* p 49-65.
- Boney CM, Verma A, Tucker R, Vohr BR (2005) Metabolic syndrome in childhood: association with birth weight, maternal obesity, and gestational diabetes mellitus. *Pediatrics* 115(3):e290-296.
- Bonvin A, Barral J, Kakebeeke TH, Kriemler S, Longchamp A, Marques-Vidal P, Puder JJ (2012) Weight status and gender-related differences in motor skills and in child care - based physical activity in young children. *BMC Pediatr* 12:23.
- Booth SL, Sallis JF, Ritenbaugh C, Hill JO, Birch LL, Frank LD, Glanz K, Himmelgreen DA, Mudd M, Popkin BM, Rickard KA, St Jeor S, Hays NP (2001) Environmental and societal factors affect food choice and physical activity: rationale, influences, and leverage points. *Nutr Rev* 59(3 Pt 2):S21-39; discussion S57-65.
- Borg G (1970) Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2(2):92-98.
- Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14(5):377-381.
- Borg GA (1998) Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics, Champaign, IL.*
- Bouvard M (2008) Questionnaires et échelles d'évaluation de l'enfant et de l'adolescent. *Masson, Paris.*
- Bradley J, Howard J, Wallace E, Elborn S (1999) Validity of a modified shuttle test in adult cystic fibrosis. *Thorax* 54(5):437-439.
- Brandou F, Savy-Pacaux AM, Marie J, Bauloz M, Maret-Fleuret I, Borrocoso S, Mercier J, Brun JF (2005) Impact of high- and low-intensity targeted exercise training on the type of substrate utilization in obese boys submitted to a hypocaloric diet. *Diabetes Metab* 31(4 Pt 1):327-335.
- Brooks GA, Mercier J (1994) Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol* 76(6):2253-2261.
- Brun JF, Jean E, Ghanassia E, Flavier S, Mercier J (2007) Metabolic training: new paradigms of exercise training for metabolic diseases with exercise calorimetry targeting individuals. *Ann Readapt Med Phys* 50(6):528-534.
- Brunetto A, Roseguini B, Silva B, Hirai D, Ronque E, Guedes D (2008) Heart rate variability threshold in obese and non-obese adolescents. *Rev Bras Med Esporte* 14(2):145-149.
- Buchheit M, Solano R, Millet GP (2007) Heart-rate deflection point and the second heart-rate variability threshold during running exercise in trained boys. *Pediatr Exerc Sci* 19(2):192-204.

- C -

- Calders P, Deforche B, Verschelde S, Bouckaert J, Chevalier F, Bassle E, Tanghe A, De Bode P, Franckx H (2008) Predictors of 6-minute walk test and 12-minute walk/run test in obese children and adolescents. *Eur J Pediatr* 167(5):563-568.
- Cassirame J, Tordi N, Mourot L, Rakobowchuk M, Regnard J (2007) L'utilisation d'un nouveau système d'enregistrement de fréquence cardiaque battement à battement pour l'analyse traditionnelle de variabilité de fréquence cardiaque. *Sci Sport* 22:238-242.
- Castro-Pineiro J, Ortega FB, Keating XD, Gonzalez-Montesinos JL, Sjostrom M, Ruiz JR (2011) Percentile values for aerobic performance running/walking field tests in children aged 6 to 17 years: influence of weight status. *Nutr Hosp* 26(3):572-578.
- Cazorla G, Leger L (1993) Comment évaluer et développer vos capacités aérobies : épreuve progressive de course navette, épreuve progressive de course sur piste VAMEVAL. *AREAPS*, Bordeaux.
- Chen X, Beydoun MA, Wang Y (2008) Is sleep duration associated with childhood obesity? A systematic review and meta-analysis. *Obesity (Silver Spring)* 16(2):265-274.
- Cliff DP, Okely AD, Morgan PJ, Jones RA, Steele JR, Baur LA (2012) Proficiency deficiency: mastery of fundamental movement skills and skill components in overweight and obese children. *Obesity (Silver Spring)* 20(5):1024-1033.
- Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH (2000) Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ* 320(7244):1240-1243.
- Cole TJ, Lobstein T (2012) Extended international (IOTF) body mass index cut-offs for thinness, overweight and obesity. *Pediatr Obes* 7(4):284-294.
- Colley RC, Garrigué D, Janssen I, Craig CL, Clarke J, Tremblay MS (2011) Physical activity of Canadian children and youth: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep* 22(1):15-23.
- Committee of experts on sports research (1993) Handbook for the EUROFIT tests of physical fitness. 2th edition. *Council of Europe*, Strasbourg.
- Cooper KH (1968) A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 203(3):201-204.
- Coquart JB, Eston RG, Grosbois JM, Lemaire C, Dubart AE, Luttenbacher DP, Garcin M (2010) Prediction of peak oxygen uptake from age and power output at RPE 15 in obese women. *Eur J Appl Physiol* 110(3):645-649.
- Coquart JB, Lemaire C, Dubart AE, Luttenbacher DP, Douillard C, Garcin M (2008) Intermittent versus continuous exercise: effects of perceptually lower exercise in obese women. *Med Sci Sports Exerc* 40(8):1546-1553.
- Coquart JB, Lensel G, Garcin M (2009) Exertion perception in children and teenagers: Measure and interests. *Sci Sport* 24(3-4):137-145.
- Coquart JB, Tourny-Chollet C, Lemaitre F, Lemaire C, Grosbois JM, Garcin M (2012) Relevance of the measure of perceived exertion for the rehabilitation of obese patients. *Ann Phys Rehabil Med* 55(9-10):623-640.
- Cottin F, Lepretre PM, Lopes P, Papelier Y, Medigue C, Billat V (2006) Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability in well-trained subjects during cycling. *Int J Sports Med* 27(12):959-967.
- Cottin F, Medigue C, Lopes P, Lepretre PM, Heubert R, Billat V (2007) Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int J Sports Med* 28(4):287-294.
- Cureton KJ, Sloniger MA, O'Bannon JP, Black DM, McCormack WP (1995) A generalized equation for prediction of VO₂peak from 1-mile run/walk performance. *Med Sci Sports Exerc* 27(3):445-451.

- D -

- 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 (Lond)* 37(1):61-67.
- Dao HH, Frelut ML, Oberlin F, Peres G, Bourgeois P, Navarro J (2004a) Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on body composition in obese adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28(2):290-299.
- Dao HH, Frelut ML, Peres G, Bourgeois P, Navarro J (2004b) Effects of a multidisciplinary weight loss intervention on anaerobic and aerobic aptitudes in severely obese adolescents. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28(7):870-878.
- De Onis M, Blossner M, Borghi E (2010) Global prevalence and trends of overweight and obesity among preschool children. *Am J Clin Nutr* 92(5):1257-1264.
- Deforche B, Lefevre J, De Bourdeaudhuij I, Hills AP, Duquet W, Bouckaert J (2003) Physical fitness and physical activity in obese and nonobese Flemish youth. *Obes Res* 11(3):434-441.
- Delmas C, Platat C, Schweitzer B, Wagner A, Oujaa M, Simon C (2007) Association between television in bedroom and adiposity throughout adolescence. *Obesity (Silver Spring)* 15(10):2495-2503.
- Dourado VZ, Banov MC, Marino MC, de Souza VL, Antunes LC, McBurnie MA (2010) A simple approach to assess VT during a field walk test. *Int J Sports Med* 31(10):698-703.
- Drinkard B, McDuffie J, McCann S, Uwaifo GI, Nicholson J, Yanovski JA (2001) Relationships between walk/run performance and cardiorespiratory fitness in adolescents who are overweight. *Phys Ther* 81(12):1889-1896.
- Duche P (2008) Activité physique et obésité infantile : dépistage, prévention et prise en charge. *Sci Sport* 23:278-282.
- Duclos M, Duché P, Guezennec C, Richard R, Rivière D, Vidalin H (2010) Position de consensus : activité physique et obésité chez l'enfant et chez l'adulte. *Sci Sport* 25:207-225.
- Dupuis J, Daudet G (2001) Médecine du sport de l'enfant et de l'adolescent. *Ellipses*, Paris.

- E -

- Edouard P, Gautheron V, D'Anjou MC, Pupier L, Devillard X (2007) Réentraînement à l'effort chez l'enfant : revue de la littérature. *Annales de réadaptation et de médecine physique* 50:499-509.
- Ekkekakis P, Lind E (2006) Exercise does not feel the same when you are overweight: the impact of self-selected and imposed intensity on affect and exertion. *Int J Obes (Lond)* 30(4):652-660.
- Elloumi M, Makni E, Ounis OB, Moalla W, Zbidi A, Zaoueli M, Lac G, Tabka Z (2011) Six-minute walking test and the assessment of cardiorespiratory responses during weight-loss programmes in obese children. *Physiother Res Int* 16(1):32-42.
- Eston R, Parfitt G, Campbell L, Lamb K (2000) Reliability of effort perception for regulating exercise intensity in children using a Cart and Load Effort Rating (CALER) Scale. *Pediatr Exerc Sci* 12:388-397.

- F -

- Falgairrette G (1989) Evolution de la puissance maximale aérobie de l'enfance à l'âge adulte : influence de l'activité physique et sportive. *Revue STAPS* 20(10):43-58.
- Farpour-Lambert NJ, Aggoun Y, Marchand LM, Martin XE, Herrmann FR, Beghetti M (2009) Physical activity reduces systemic blood pressure and improves early markers of atherosclerosis in pre-pubertal obese children. *J Am Coll Cardiol* 54(25):2396-2406.
- Faulkner J, Eston R (2008) Perceived exertion research in the 21st century: developments, reflections and questions for the future. *Journal of Exercise Science & Fitness* 6(1):26-32.
- Fermanian J (2005) Validation of assessment scales in physical medicine and rehabilitation: how are psychometric properties determined? *Ann Readapt Med Phys* 48(6):281-287.
- Ferns SJ, Wehrmacher WH, Serratto M (2011) Effects of obesity and gender on exercise capacity in urban children. *Gen Med* 8(4):224-230.
- Field AE, Austin SB, Taylor CB, Malspeis S, Rosner B, Rockett HR, Gillman MW, Colditz GA (2003) Relation between dieting and weight change among preadolescents and adolescents. *Pediatrics* 112(4):900-906.
- Fogelholm M, Stigman S, Huisman T, Metsamuuronen J (2008) Physical fitness in adolescents with normal weight and overweight. *Scand J Med Sci Sports* 18(2):162-170.
- Forman J, Halford JC, Summe H, MacDougall M, Keller KL (2009) Food branding influences ad libitum intake differently in children depending on weight status. Results of a pilot study. *Appetite* 53(1):76-83.
- Frelut M, Perez G (2007) Activité physique et obésité de l'enfant : de sa responsabilité à son intérêt thérapeutique. *mt pédiatrie* 10(6):373-379.

- G -

- Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L (2009) Effet de l'entraînement aérobie sur la variabilité de la fréquence cardiaque au repos. *Sci Sport* 24:128-136.
- Gilbert R, Widom CS, Browne K, Fergusson D, Webb E, Janson S (2009) Burden and consequences of child maltreatment in high-income countries. *Lancet* 373(9657):68-81.
- Girardet JP, Bocquet A, Bresson JL, Chouraqui JP, Darmaun D, Dupont C, Frelut ML, Ghisolfi J, Goulet O, Rieu D, Rigo J, Thibault H, Turck D, Vidailhet M (2009) Le Programme National Nutrition Sante (PNNS): quels effets sur la sante des enfants? *Arch Pediatr* 16(1):3-6.
- Golding LA (2000) YMCA Fitness Testing and Assessment Manual. 4th edition. *Human Kinetics*, Champaign, IL.
- Goldschmidt AB, Aspen VP, Sinton MM, Tanofsky-Kraff M, Wilfley DE (2008) Disordered eating attitudes and behaviors in overweight youth. *Obesity (Silver Spring)* 16(2):257-264.
- Goran M, Fields DA, Hunter GR, Herd SL, Weinsier RL (2000) Total body fat does not influence maximal aerobic capacity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 24(7):841-848.
- Gortmaker SL, Must A, Sobol AM, Peterson K, Colditz GA, Dietz WH (1996) Television viewing as a cause of increasing obesity among children in the United States, 1986-1990. *Arch Pediatr Adolesc Med* 150(4):356-362.
- 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 Relat Metab Disord* 28(1):22-26.

- Grenier B, Dubreuil M, Journois D (2000) Comparaison de deux méthodes de mesure d'une même grandeur : méthode de Bland et Altman. *Ann Fr Anesth Réanim* 19:128-135.
- Gros Lambert A, Mahon AD (2006) Perceived exertion : influence of age and cognitive development. *Sports Med* 36(11):911-928.
- Gueugnon C, Mougin F, Simon-Rigaud ML, Nègre V, Touati S, Regnard J (2011) Intérêt d'un réentraînement à l'effort intermittent individualisé chez l'adolescent obèse. *Sci Sport* 26:229-232.
- Guignon N, Collet M, Gonzalez L, de Saint Pol T, Guthmann J, Fonteneau L (2010) La santé des enfants en grande section de maternelle en 2005-2006. *DREES Etudes et Résultats* 737:1-8.
- Guinhouya BC, Apete GK, Hubert H (2010) Actualité sur les déterminants de l'activité physique habituelle (APH) de l'enfant : mise à jour et implications pour les options de prise en charge et de prévention du surpoids/obésité infantile. *Rev Epidemiol Sante Publique* 58(1):49-58.
- Gulmans VA, van Veldhoven NH, de Meer K, Helders PJ (1996) The six-minute walking test in children with cystic fibrosis: reliability and validity. *Pediatr Pulmonol* 22(2):85-89.
- Gupta N, Goel K, Shah P, Misra A (2012) Childhood obesity in developing countries: epidemiology, determinants, and prevention. *Endocr Rev* 33(1):48-70.

- H -

- HAS (2011) Recommandation de bonnes pratiques : Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent *sur le site: Haute Autorité de Santé*. Consulté le 25 novembre 2013.
http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_964941/fr/surpoids-et-obesite-de-l-enfant-et-de-l-adolescent-actualisation-des-recommandations-2003?xtmc=&xtcr=8
- Haug E, Rasmussen M, Samdal O, Iannotti R, Kelly C, Borraccino A, Vereecken C, Melkevik O, Lazzeri G, Giacchi M, Ercan O, Due P, Ravens-Sieberer U, Currie C, Morgan A, Ahluwalia N (2009) Overweight in school-aged children and its relationship with demographic and lifestyle factors: results from the WHO-Collaborative Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) study. *Int J Public Health* 54(2):167-179.
- Hulens M, Vansant G, Claessens AL, Lysens R, Muls E (2003) Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women. *Scand J Med Sci Sports* 13(2):98-105.
- Hynynen E, Uusitalo A, Kontinen N, Rusko H (2006) Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 38(2):313-317.

- I -

- Ino T (2010) Maternal smoking during pregnancy and offspring obesity: meta-analysis. *Pediatr Int* 52(1):94-99.
- INPES (2011) Courbe de corpulence pour les garçons et les filles de 0 à 18 ans *sur le site: Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé*. Consulté le 25 novembre 2013.
http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/IMC/courbes_enfants.pdf
- Inserm (2008) Activité physique, contexte et effets sur la santé. *Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale*, Paris.

- J -

- Jimenez-Pavon D, Konstabel K, Bergman P, Ahrens W, Pohlabein H, Hadjigeorgiou C, Siani A, Iacoviello L, Molnar D, De Henauw S, Pitsiladis Y, Moreno LA (2013) Physical activity and clustered cardiovascular disease risk factors in young children: a cross-sectional study (the IDEFICS study). *BMC Med* 11:172.
- Jones RA, Okely AD, Caputi P, Cliff DP (2010) Perceived and actual competence among overweight and non-overweight children. *J Sci Med Sport* 13(6):589-596.
- Junien C, Nathanielsz P (2007) Report on the IASO Stock Conference 2006: early and lifelong environmental epigenomic programming of metabolic syndrome, obesity and type II diabetes. *Obes Rev* 8(6):487-502.
- Juonala M, Magnussen CG, Berenson GS, Venn A, Burns TL, Sabin MA, Srinivasan SR, Daniels SR, Davis PH, Chen W, Sun C, Cheung M, Viikari JS, Dwyer T, Raitakari OT (2011) Childhood adiposity, adult adiposity, and cardiovascular risk factors. *N Engl J Med* 365(20):1876-1885.

- K -

- Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ (2008) Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med* 29(8):652-657.
- Keller KL, Kuilema LG, Lee N, Yoon J, Mascaro B, Combes AL, Deutsch B, Sorte K, Halford JC (2012) The impact of food branding on children's eating behavior and obesity. *Physiol Behav* 106(3):379-386.
- Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE (2005) Comparison of Polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int J Sports Med* 26(1):39-44.
- Klijn PH, Van der Baan-Slootweg OH, Van Stel HF (2007) Aerobic exercise in adolescents with obesity: preliminary evaluation of a modular training program and the modified shuttle test. *BMC Pediatr* 7:19-30.
- Kline GM, Porcari JP, Hintermeister R, Freedson PS, Ward A, McCarron RF, Ross J, Rippe JM (1987) Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Med Sci Sports Exerc* 19(3):253-259.
- Knutson KL, Spiegel K, Penev P, Van Cauter E (2007) The metabolic consequences of sleep deprivation. *Sleep Med Rev* 11(3):163-178.
- Kyrolainen H, Santtila M, Nindl BC, Vasankari T (2010) Physical fitness profiles of young men: associations between physical fitness, obesity and health. *Sports Med* 40(11):907-920.

- L -

- Laguna M, Ruiz JR, Lara MT, Aznar S (2013) Recommended levels of physical activity to avoid adiposity in Spanish children. *Pediatr Obes* 8(1):62-69.
- Lajunen HR, Keski-Rahkonen A, Pulkkinen L, Rose RJ, Rissanen A, Kaprio J (2007) Are computer and cell phone use associated with body mass index and overweight? A population study among twin adolescents. *BMC Public Health* 7:24-32.
- Landry BW, Driscoll SW (2012) Physical activity in children and adolescents. *PM R* 4(11):826-832.
- Laveault D, Grégoire J (2002) Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation. *De Boeck Université*, Bruxelles.
- Lazaar N, Esbri C, Gandon N, Ratel S, Dore E, Duche P (2004) Modalities of submaximal exercises on ratings of perceived exertion by young girls: a pilot study. *Percept Mot Skills* 99(3 Pt 2):1091-1096.
- Lazzer S, Lafortuna C, Busti C, Galli R, Tinozzi T, Agosti F, Sartorio A (2010) Fat oxidation rate during and after a low- or high-intensity exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Eur J Appl Physiol* 108(2):383-391.
- Leduc G (2012) Condition physique aerobie, statut pondéral et image corporelle des jeunes Québécois de 6 à 12 ans. Thèse de doctorat d'université. Département des sciences des aliments et de nutrition, Université de Laval, Québec.
- Leger J, Limoni C, Collin D, Czernichow P (1998) Prediction factors in the determination of final height in subjects born small for gestational age. *Pediatr Res* 43(6):808-812.
- Leger LA, Lambert J (1982) A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 49(1):1-12.
- Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J (1988) The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 6(2):93-101.
- LeMura LM, Maziakas MT (2002) Factors that alter body fat, body mass, and fat-free mass in pediatric obesity. *Med Sci Sports Exerc* 34(3):487-496.
- Leproult R, Van Cauter E (2010) Role of sleep and sleep loss in hormonal release and metabolism. *Endocr Dev* 17:11-21.
- Li C, Kaur H, Choi WS, Huang TT, Lee RE, Ahluwalia JS (2005) Additive interactions of maternal prepregnancy BMI and breast-feeding on childhood overweight. *Obes Res* 13(2):362-371.
- Lindsay AR, Hongu N, Spears K, Idris R, Dyrek A, Manore MM (2013) Field Assessments for Obesity Prevention in Children and Adults: Physical Activity, Fitness, and Body Composition. *J Nutr Educ Behav*: sous presse.
- Lioret S, Touvier M, Dubuisson C, Dufour A, Calamassi-Tran G, Lafay L, Volatier JL, Maire B (2009) Trends in child overweight rates and energy intake in France from 1999 to 2007: relationships with socioeconomic status. *Obesity (Silver Spring)* 17(5):1092-1100.
- Lloyd LJ, Langley-Evans SC, McMullen S (2012) Childhood obesity and risk of the adult metabolic syndrome: a systematic review. *Int J Obes (Lond)* 36(1):1-11.
- Lopes VP, Rodrigues LP, Maia JA, Malina RM (2011) Motor coordination as predictor of physical activity in childhood. *Scand J Med Sci Sports* 21(5):663-669.

- M -

- Mahar MT, Guerieri AM, Hanna MS, Kemble CD (2011) Estimation of aerobic fitness from 20-m multistage shuttle run test performance. *Am J Prev Med* 41(4):S117-123.
- Malmivuo J, Plonsey R (1995) Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. *Oxford University Press*, New York.
- Marinov B, Mandadjieva S, Kostianev S (2008) Pictorial and verbal category-ratio scales for effort estimation in children. *Child Care Health Dev* 34(1):35-43.
- Marshall SJ, Biddle SJ, Gorely T, Cameron N, Murdey I (2004) Relationships between media use, body fatness and physical activity in children and youth: a meta-analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28(10):1238-1246.
- Martin A (2001) Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3ème édition. *Tec & Doc*, Paris.
- Martinez-Gomez D, Ruiz JR, Ortega FB, Veiga OL, Moliner-Urdiales D, Mauro B, Galfo M, Manios Y, Widhalm K, Beghin L, Moreno LA, Molnar D, Marcos A, Sjostrom M (2010) Recommended levels of physical activity to avoid an excess of body fat in European adolescents: the HELENA Study. *Am J Prev Med* 39(3):203-211.
- Matsuzaka A, Takahashi Y, Yamazoe M, Kumakura N, Ikeda A, Wilk B, Bar-Or O (2004) Validity of the multistage 20-m shuttle-run test for Japanese children, adolescents, and adults *Pediatr Exerc Sci* 16:113-125.
- Mendelson M, Michallet AS, Esteve F, Perrin C, Levy P, Wuyam B, Flore P (2012) Ventilatory responses to exercise training in obese adolescents. *Respir Physiol Neurobiol* 184(1):73-79.
- Mendelson M, Michallet AS, Tonini J, Guinot M, Bricout V, Flore P (2013) Activité physique dans la prise en charge de l'obésité : effets bénéfiques et modalités pratiques. *Obésité* 7(3):160-168.
- Mesa JL, Ruiz JR, Ortega FB, Warnberg J, Gonzalez-Lamuno D, Moreno LA, Gutierrez A, Castillo MJ (2006) Aerobic physical fitness in relation to blood lipids and fasting glycaemia in adolescents: influence of weight status. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 16(4):285-293.
- Michallet AS, Tonini J, Perrin C, Favre-Juvin A, Wuyam B, Flore P (2007) Implication des facteurs cardiorespiratoires dans l'intolérance à l'effort de l'adolescent obèse. *Sci Sport* 22:309-311.
- Ministère de la Santé (2010) Plan Obésité 2010-2013 *sur le site: Ministère des Affaires sociales et de la Santé*. Consulté le 25 novembre 2013.
http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/Plan_Obesite_-_interactif.pdf
- Ministère de la Santé (2011) Programme National Nutrition Santé 2011-2015 *sur le site: Ministère des Affaires sociales et de la Santé*. Consulté le 25 novembre 2013.
http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNNS_2011-2015.pdf
- Mokha JS, Srinivasan SR, Dasmahapatra P, Fernandez C, Chen W, Xu J, Berenson GS (2010) Utility of waist-to-height ratio in assessing the status of central obesity and related cardiometabolic risk profile among normal weight and overweight/obese children: the Bogalusa Heart Study. *BMC Pediatr* 10:73.
- Monnier-Benoit P, Gros Lambert A, Rouillon JD (2009) Determination of the ventilatory threshold with affective valence and perceived exertion in trained cyclists: a preliminary study. *J Strength Cond Res* 23(6):1752-1757.
- Moreira C, Santos R, Ruiz JR, Vale S, Soares-Miranda L, Marques AI, Mota J (2011) Comparison of different VO2max equations in the ability to discriminate the metabolic risk in Portuguese adolescents. *J Sci Med Sport* 14(1):79-84.

Mourot L (2004) Régulation neurovégétative des fonctions cardiovasculaires. Etude lors de l'exercice, de l'entraînement, du surentraînement et lors de l'immersion. Thèse de doctorat d'université. STAPS, Université de Franche Comté, Besançon.

Mourot L, Tordi N, Bouhaddi M, Teffaha D, Monpere C, Regnard J (2012) Heart rate variability to assess ventilatory thresholds: reliable in cardiac disease? *Eur J Prev Cardiol* 19(6):1272-1280.

Must A, Tybor DJ (2005) Physical activity and sedentary behavior: a review of longitudinal studies of weight and adiposity in youth. *Int J Obes (Lond)* 29(2):S84-96.

- N -

Nader PR, Huang TT, Gahagan S, Kumanyika S, Hammond RA, Christoffel KK (2012) Next steps in obesity prevention: altering early life systems to support healthy parents, infants, and toddlers. *Child Obes* 8(3):195-204.

Nassis GP, Papantakou K, Skenderi K, Triandafillopoulou M, Kavouras SA, Yannakoulia M, Chrousos GP, Sidossis LS (2005) Aerobic exercise training improves insulin sensitivity without changes in body weight, body fat, adiponectin, and inflammatory markers in overweight and obese girls. *Metabolism* 54(11):1472-1479.

Ness AR, Leary SD, Mattocks C, Blair SN, Reilly JJ, Wells J, Ingle S, Tilling K, Smith GD, Riddoch C (2007) Objectively measured physical activity and fat mass in a large cohort of children. *PLoS Med* 4(3):e97.

Niederer I, Kriemler S, Zahner L, Burgi F, Ebenegger V, Marques P, Puder JJ (2012) BMI group-related differences in physical fitness and physical activity in preschool-age children: a cross-sectional analysis. *Res Q Exerc Sport* 83(1):12-19.

Noble J, Robertson R (1996) Perceived Exertion. *Human Kinetics*, Champaign, IL.

Noonan V, Dean E (2000) Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther* 80(8):782-807.

Norman AC, Drinkard B, McDuffie JR, Ghorbani S, Yanoff LB, Yanovski JA (2005) Influence of excess adiposity on exercise fitness and performance in overweight children and adolescents. *Pediatrics* 115(6):e690-696.

- O -

ObEpi-Roche (2012) Enquête épidémiologique nationale sur l'obésité et le surpoids Inserm / Kantar Health / Roche sur le site: *groupe Roche*. Consulté le 25 novembre 2013.
http://www.roche.fr/content/dam/corporate/roche_fr/doc/obepi_2012.pdf

Obert P, Vinet A. Réponses et adaptations cardiovasculaires à l'exercice au cours de la croissance. *Edité par Van Praagh E (2007) dans Physiologie du sport - Enfant et adolescent. De Boeck Université, Bruxelles.* p 149-161.

Oken E, Levitan EB, Gillman MW (2008) Maternal smoking during pregnancy and child overweight: systematic review and meta-analysis. *Int J Obes (Lond)* 32(2):201-210.

Olds T, Maher C, Zumin S, Peneau S, Lioret S, Castetbon K, Bellisle, de Wilde J, Hohepa M, Maddison R, Lissner L, Sjoberg A, Zimmermann M, Aeberli I, Ogden C, Flegal K, Summerbell C (2011) Evidence that the prevalence of childhood overweight is plateauing: data from nine countries. *Int J Pediatr Obes* 6(5-6):342-360.

- OMS (2003) Obésité : prévention et prise en charge de l'épidémie mondiale. *Organisation Mondiale de la Santé*, Genève.
- OMS (2007) Evidence on the long term effects of breastfeeding: systematic reviews and meta-analyses. *Organisation Mondiale de la Santé*, Genève.
- OMS (2010) Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé. *Organisation Mondiale de la Santé*, Genève.
- Ong KK, Loos RJ (2006) Rapid infancy weight gain and subsequent obesity: systematic reviews and hopeful suggestions. *Acta Paediatr* 95(8):904-908.
- Ounis B, Elloumi M, Amri M, Trabelsi Y, Lac G, Tabka Z (2009) Effet de l'entraînement et du régime hypocalorique sur l'oxydation des lipides et la composition corporelle chez des adolescents obèses. *Sci Sport* 24:178-185.
- Overberg J, Hummel T, Krude H, Wiegand S (2012) Differences in taste sensitivity between obese and non-obese children and adolescents. *Arch Dis Child* 97(12):1048-1052.

- P -

- Parfitt G, Shepherd P, Eston R (2007) Reliability of effort production using the children's CALER and BABE perceived Exertion scales. *J Exerc Sci Fit* 5(1):49-55.
- Pasquet P, Frelut ML, Simmen B, Hladik CM, Monneuse MO (2007) Taste perception in massively obese and in non-obese adolescents. *Int J Pediatr Obes* 2(4):242-248.
- Perez-Martin A, Dumortier M, Raynaud E, Brun JF, Fedou C, Bringer J, Mercier J (2001) Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab* 27(4):466-474.
- Perry H (2010) Les déterminants précoces de l'obésité infantile : étude rétrospective d'une population pédiatrique franc-comtoise. Thèse d'exercice. Faculté de médecine, Université de Franche Comté, Besançon.
- Peyrot N, Thivel D, Isacco L, Morin JB, Duche P, Belli A (2009) Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents? *J Appl Physiol* 106(6):1763-1770.
- Pfeiffer KA, Pivarnik JM, Womack CJ, Reeves MJ, Malina RM (2002) Reliability and validity of the Borg and OMNI rating of perceived exertion scales in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 34(12):2057-2061.
- Pillard F, Galéra O, Cances-Lauwers V, Rami J, Moréno G, Rivière D (2011) Le test en 8 : un nouveau test de terrain pour l'évaluation des possibilités en endurance chez les enfants de poids normal et obèses. Poster présenté au 4ème Congrès commun de la Société Française de Médecine du Sport & de la Société Française de Traumatologie du Sport, Caen,
- Pouessel G, Morillon S, Bonnel C, Neve V, Robin S, Santos C, Thumerelle C, Matran R, Deschildre A (2006) Tests de marche: une avancée dans l'évaluation fonctionnelle cardiorespiratoire. *Arch Pediatr* 13(3):277-283.
- Prentice-Dunn H, Prentice-Dunn S (2012) Physical activity, sedentary behavior, and childhood obesity: a review of cross-sectional studies. *Psychol Health Med* 17(3):255-273.
- Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Butte NF (2002) Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obes Res* 10(3):150-157.

- R -

- Rauner A, Mess F, Woll A (2013) The relationship between physical activity, physical fitness and overweight in adolescents: a systematic review of studies published in or after 2000. *BMC Pediatr* 13:19-28.
- Rey O, Rossi D, Nicol C, Mercier CS, Vallier JM, Maïano C (2013) Indirect assessment of aerobic capacity of obese adolescents: Interest of a short intermittent, progressive and maximal running test. *Sci Sport: sous presse*.
- Ricour C, Tauber M. L'épidémie de l'obésité de l'enfant à l'épreuve de la « généticisation ». *Edité par Hervé C, Jean M, Molinari P, Grimaud M, Laforêt E (2008) dans Généticisation et responsabilités. Dalloz, Paris. p 41-47.*
- Rigal N. Déterminants de la prise alimentaire chez l'enfant : importance du plaisir. *Edité par Basdevant A, Bouillot J, Clément K, Oppert J, Tounian P (2011) dans Traité médecine et chirurgie de l'obésité. Lavoisier, Paris. p 328-331.*
- Robertson RJ, Goss FL, Aaron DJ, Tessmer KA, Gairola A, Ghigiarelli JJ, Kowallis RA, Thekkada S, Liu Y, Randall CR, Weary KA (2006) Observation of perceived exertion in children using the OMNI pictorial scale. *Med Sci Sports Exerc* 38(1):158-166.
- Robertson RJ, Goss FL, Andreacci JL, Dube JJ, Rutkowski JJ, Frazee KM, Aaron DJ, Metz KF, Kowallis RA, Snee BM (2005a) Validation of the Children's OMNI-Resistance Exercise Scale of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 37(5):819-826.
- Robertson RJ, Goss FL, Andreacci JL, Dube JJ, Rutkowski JJ, Snee BM, Kowallis RA, Crawford K, Aaron DJ, Metz KF (2005b) Validation of the children's OMNI RPE scale for stepping exercise. *Med Sci Sports Exerc* 37(2):290-298.
- Robertson RJ, Goss FL, Boer NF, Peoples JA, Foreman AJ, Dabayeb IM, Millich NB, Balasekaran G, Riechman SE, Gallagher JD, Thompkins T (2000) Children's OMNI scale of perceived exertion: mixed gender and race validation. *Med Sci Sports Exerc* 32(2):452-458.
- Rodrigues LP, Leitaó R, Lopes VP (2013) Physical fitness predicts adiposity longitudinal changes over childhood and adolescence. *J Sci Med Sport* 16(2):118-123.
- Roemmich JN, Barkley JE, Epstein LH, Lobarinas CL, White TM, Foster JH (2006) Validity of PCERT and OMNI walk/run ratings of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 38(5):1014-1019.
- Rolland-Cachera MF (2011) Childhood obesity: current definitions and recommendations for their use. *Int J Pediatr Obes* 6(5-6):325-331.
- Rolland-Cachera MF, Cole TJ, Sempe M, Tichet J, Rossignol C, Charraud A (1991) Body Mass Index variations: centiles from birth to 87 years. *Eur J Clin Nutr* 45(1):13-21.
- Rolland-Cachera MF, Deheeger M, Bellisle F, Sempe M, Guilloud-Bataille M, Patois E (1984) Adiposity rebound in children: a simple indicator for predicting obesity. *Am J Clin Nutr* 39(1):129-135.
- Rowland TW, Rambusch JM, Staab JS, Unnithan VB, Siconolfi SF (1993) Accuracy of physical working capacity (PWC170) in estimating aerobic fitness in children. *J Sports Med Phys Fitness* 33(2):184-188.
- Ruiz JR, Ramirez-Lechuga J, Ortega FB, Castro-Pinero J, Benitez JM, Arauzo-Azofra A, Sanchez C, Sjostrom M, Castillo MJ, Gutierrez A, Zabala M (2008) Artificial neural network-based equation for estimating VO2max from the 20 m shuttle run test in adolescents. *Artif Intell Med* 44(3):233-245.

- S -

- Saavedra JM, Escalante Y, Garcia-Hermoso A (2011) Improvement of aerobic fitness in obese children: a meta-analysis. *Int J Pediatr Obes* 6(3-4):169-177.
- Salanave B, Peneau S, Rolland-Cachera MF, Hercberg S, Castetbon K (2009) Stabilization of overweight prevalence in French children between 2000 and 2007. *Int J Pediatr Obes* 4(2):66-72.
- Sales MM, Campbell CS, Morais PK, Ernesto C, Soares-Caldeira LF, Russo P, Motta DF, Moreira SR, Nakamura FY, Simoes HG (2011) Noninvasive method to estimate anaerobic threshold in individuals with type 2 diabetes. *Diabetol Metab Syndr* 3(1):1-8.
- Sandercock GR, Brodie DA (2006) The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scand J Med Sci Sports* 16(5):302-313.
- Saris WH, Blair SN, van Baak MA, Eaton SB, Davies PS, Di Pietro L, Fogelholm M, Rissanen A, Schoeller D, Swinburn B, Tremblay A, Westerterp KR, Wyatt H (2003) How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 4(2):101-114.
- Schellong K, Schulz S, Harder T, Plagemann A (2012) Birth weight and long-term overweight risk: systematic review and a meta-analysis including 643902 persons from 66 studies and 26 countries globally. *PLoS One* 7(10):e47776.
- Selvadurai HC, Cooper PJ, Meyers N, Blimkie CJ, Smith L, Mellis CM, Van Asperen PP (2003) Validation of shuttle tests in children with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 35(2):133-138.
- Shibata M, Moritani T, Miyawaki T, Hayashi T, Nakao K (2002) Exercise prescription based upon cardiac vagal activity for middle-aged obese women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 26(10):1356-1362.
- Shomaker LB, Tanofsky-Kraff M, Zocca JM, Field SE, Drinkard B, Yanovski JA (2012) Depressive symptoms and cardiorespiratory fitness in obese adolescents. *J Adolesc Health* 50(1):87-92.
- Simon C, Schweitzer B, Oujaa M, Wagner A, Arveiler D, Triby E, Copin N, Blanc S, Platat C (2008) Successful overweight prevention in adolescents by increasing physical activity: a 4-year randomized controlled intervention. *Int J Obes (Lond)* 32(10):1489-1498.
- Singh SJ, Morgan MD, Scott S, Walters D, Hardman AE (1992) Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 47(12):1019-1024.
- Skinner JS, Hutsler R, Bergsteinova V, Buskirk ER (1973) The validity and reliability of a rating scale of perceived exertion. *Med Sci Sports* 5(2):94-96.
- Sung RY, Yu CW, So RC, Lam PK, Hau KT (2005) Self-perception of physical competences in preadolescent overweight Chinese children. *Eur J Clin Nutr* 59(1):101-106.

- T -

- Tan S, Yang C, Wang J (2010) Physical training of 9- to 10-year-old children with obesity to lactate threshold intensity. *Pediatr Exerc Sci* 22(3):477-485.
- Task Force of the European Society of Cardiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 93(5):1043-1065.
- Thibault H, Contrand B, Saubusse E, Baine M, Maurice-Tison S (2010) Risk factors for overweight and obesity in French adolescents: physical activity, sedentary behavior and parental characteristics. *Nutrition* 26(2):192-200.

Thivel D, Isacco L, Montaurier C, Boirie Y, Duche P, Morio B (2012) The 24-h energy intake of obese adolescents is spontaneously reduced after intensive exercise: a randomized controlled trial in calorimetric chambers. *PLoS One* 7(1):e29840.

Tjonna AE, Stolen TO, Bye A, Volden M, Slordahl SA, Odegard R, Skogvoll E, Wisloff U (2009) Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci (Lond)* 116(4):317-326.

Tokmakidis SP, Kasambalis A, Christodoulos AD (2006) Fitness levels of Greek primary schoolchildren in relationship to overweight and obesity. *Eur J Pediatr* 165(12):867-874.

Tremblay MS, LeBlanc AG, Kho ME, Saunders TJ, Larouche R, Colley RC, Goldfield G, Connor Gorber S (2011) Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth. *Int J Behav Nutr Phys Act* 8:98-120.

- U - V -

U.S. Department of Health and Human Services (1996) Physical activity and health. A report of the surgeon general. *U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Atlanta.*

Vanhelst J, Fardy PS, Salleron J, Beghin L (2013) The six-minute walk test in obese youth: reproducibility, validity, and prediction equation to assess aerobic power. *Disabil Rehabil* 35(6):479-482.

- W -

Wallman KE, Campbell L (2007) Test-retest reliability of the Aerobic Power Index submaximal exercise test in an obese population. *J Sci Med Sport* 10(3):141-146.

Ward DS, Trost SG, Felton G, Saunders R, Parsons MA, Dowda M, Pate RR (1997) Physical activity and physical fitness in African-American girls with and without obesity. *Obes Res* 5(6):572-577.

Warren JH, Jaffe RS, Wraa CE, Stebbins CL (1997) Effect of autonomic blockade on power spectrum of heart rate variability during exercise. *Am J Physiol* 273(2 Pt 2):R495-502.

Wasserman K, Hansen J, Sue D, Stringer W, Sietsema K, Sun X, Whipp B (2011) Principles of Exercise Testing and Interpretation. 5th edition. *Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.*

Waters E, de Silva-Sanigorski A, Hall BJ, Brown T, Campbell KJ, Gao Y, Armstrong R, Prosser L, Summerbell CD (2011) Interventions for preventing obesity in children. *Cochrane Database Syst Rev* (12):CD001871.

Welk GJ, Blair SN. Health Benefits of Physical Activity and Fitness in Children. *Edité par Welk GJ, Meredith MD (2008) dans Fitnessgram / Activitygram Reference Guide. The Cooper Institute, Dallas. p.*

Whitaker RC, Pepe MS, Wright JA, Seidel KD, Dietz WH (1998) Early adiposity rebound and the risk of adult obesity. *Pediatrics* 101(3):E5.

Whyte LJ, Gill JM, Cathcart AJ (2010) Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism* 59(10):1421-1428.

Williams HG, Pfeiffer KA, O'Neill JR, Dowda M, McIver KL, Brown WH, Pate RR (2008) Motor skill performance and physical activity in preschool children. *Obesity (Silver Spring)* 16(6):1421-1426.

Williams JG, Eston R, Furlong B (1994) CERT: a perceived exertion scale for young children. *Percept Mot Skills* 79(3 Pt 2):1451-1458.

Williams SM, Goulding A (2009) Patterns of growth associated with the timing of adiposity rebound. *Obesity (Silver Spring)* 17(2):335-341.

VALIDATION OF TOOLS ADAPTED FOR EVALUATION OF CARDIORESPIRATORY FITNESS IN OBESE ADOLESCENTS

Pediatric obesity and its associated diseases have become a major public health challenge justifying implementation of preventive and therapeutic measures. Among these, an increase in the level of physical activity is recommended by most international guidelines. However, the return to daily physical and leisure activities can be difficult for obese youths, due to low self-esteem, difficulties in integrating groups and poor physical fitness. Overweight combined with sedentarity progressively modify cardio-respiratory exercise tolerance, rendering difficult the return to exercise and contributing to non-compliance with prescriptions for physical activity. Due to the limited number of suitable facilities, functional explorations of exercise, which are usually performed using exercise tests in the laboratory context, remain poorly accessible for this patient population. For this reason, the development of non-invasive tools to measure cardiorespiratory fitness, such as scales to measure perceived exertion, physical aptitude field tests adapted to the constraints of obese youths, or heart rate variability, is necessary to meet the growing needs of professionals in the field of physical activity responsible for the management of these subjects. The main objective of this doctoral thesis was to validate tools to determine cardiorespiratory capacity in obese youths and its variations during training. Thirty severely obese adolescents (z-score BMI = 4.37 ± 0.11) performed three field tests before and after a multidisciplinary obesity management programme (comprising medical, dietetic, psychological counselling and a return to physical activity), as well as a maximal exercise stress tests on a cycle ergometer, with continuous measurement of physiological (VE , VO_2 , VCO_2 , heart rate, R-R interval) and perceptive variables. Perceived exertion was measured using an adaptation of the Borg scale, called the "Childhood Obesity Perceived Exertion Scale" (COPE-10). A 12 minute walk/run test, an adapted 20m shuttle walk test (starting speed $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, increments : $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) and a submaximal exercise test by cycle ergometer with 4 stages were used to calculate indices of cardiorespiratory fitness, namely: distance covered in 12 minutes (D12), maximum speed (V_{max}) and maximum aerobic power development (PMA). Time-domain frequency analysis of the R-R intervals was used to estimate the thresholds of heart rate variability. The main findings show that the COPE-10 is a specific, reproducible and sensitive scale to quantify the intensity of exercise as perceived by the subject during effort. Significant correlations before and after the management programme between peak VO_2 and D12, V_{max} and PMA respectively underline the validity and sensitivity of these three tests. Equations to predict peak VO_2 , adjusted for BMI, were developed based on these measures of cardiorespiratory fitness. Lastly, a strong relation between the thresholds of heart-rate variability and ventilatory thresholds was observed, highlighting the reliability of frequency analysis to accurately determine submaximal exercise intensity. In conclusion, these tools are inexpensive, easy to implement and highly useful in the evaluation and follow-up of cardiorespiratory fitness in obese adolescents. In clinical practice, they can easily be used to develop and personalise adapted re-training programmes in overweight youths.

Keywords: obesity; adolescent; physical fitness; field test; heart rate variability; perceived exertion.
