



HAL
open science

Chapitre 17 : Les maladies respiratoires.

Claudine Fabre, Benoît Borel, Valérie Bougault

► To cite this version:

Claudine Fabre, Benoît Borel, Valérie Bougault. Chapitre 17 : Les maladies respiratoires.. Desiris. L'enfant et l'activité physique - de la théorie à la pratique, pp.437, 2014, L'enfant et l'activité physique - De la théorie à la pratique, 978-2-36403-063-3. <hal-03029167>

HAL Id: hal-03029167

<https://hal.science/hal-03029167v1>

Submitted on 27 Nov 2020

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.



HAL Authorization

Ouvrage : L'enfant et l'activité Physique : De la théorie à la pratique

Sous la direction de Sébastien Ratel et Vincent Martin

Editions Désiris, Parution le 08/02/2014

Chapitre 17 : Les maladies respiratoires.

Claudine Fabre, Benoit Borel, Valérie Bougault.

La mucoviscidose et l'asthme sont deux pathologies rencontrées chez les enfants et adolescents et qui touchent le système respiratoire. Pendant longtemps, l'activité physique a été déconseillée pour les patients porteurs de ces pathologies car elles étaient susceptibles de mettre en danger leur santé et leur vie. Depuis plusieurs décennies, il a été prouvé qu'au contraire la pratique régulière d'une activité physique permet une amélioration de la condition physique et de la qualité de vie de ces enfants, ainsi que l'acquisition d'une plus grande autonomie. Malgré tout, à notre époque, les réticences et les peurs sont tenaces et de nombreux enfants atteints de pathologies respiratoires continuent de réduire leur activité physique journalière, aidés en cela par leur entourage. La cohésion entre le monde médical, les parents et l'entourage scolaire et sportif des enfants devrait être encouragée. En effet, le manque de connaissances et d'éducation des bienfaits de l'activité physique adaptée à la pathologie ont été jusqu'à présent trop souvent un frein majeur à la prise en charge des enfants concernés.

Ce chapitre s'intéressera respectivement à la mucoviscidose et à l'asthme chez l'enfant. Après quelques notions de physiopathologie, et une description des obstacles rencontrés à la pratique d'une activité physique chez ces enfants, nous résumerons les recommandations actuelles d'activité physique pour chacune de ces pathologies, en précisant les précautions à prendre et apportant quelques exemples de pratique.

Partie 1 : L'enfant porteur de mucoviscidose et le sport

1. Epidémiologie et pathophysiologie de la mucoviscidose

1.1. Epidémiologie de la mucoviscidose

Dans les populations européennes et nord américaines, la mucoviscidose est la plus fréquente des maladies génétiques graves dès l'enfance. Cette pathologie présente une disparité régionale importante et les continents asiatiques et africains semblent moins touchés que l'Europe et l'Amérique du nord (Gibson et coll., 2003). La fréquence de la maladie en France est actuellement de 1/4600 avec des disparités régionales importantes (Dommergues et coll., 2003). On estime qu'environ 6000 patients sont atteints dans la population française (Bellis et coll., 2012) et un sujet sur 25 est porteur du gène anormal, donc susceptible de transmettre la maladie (Girodon-Boulandet et Costa, 2005). Depuis 2002, la mucoviscidose représente la quatrième maladie génétique dépistée systématiquement chez tous les nouveaux nés, partout en France (Dommergues et coll., 2003).

1.2. Pathophysiologie de la mucoviscidose

La mucoviscidose se traduit par la production d'une quantité importante de mucus visqueux au niveau des épithélia de nombreux organes. C'est une maladie génétique à transmission autosomique récessive, liée à une mutation du gène codant pour la protéine Cystic Fibrosis Transmembrane Regulator (gène CFTR) et se traduisant par l'atteinte de nombreuses fonctions sécrétrices du corps humain. Le gène CFTR est localisé sur le bras long du chromosome 7 (Kerem et coll., 1989 ; Riordan et coll., 1989 ; Rommens et coll., 1989), gène

codant pour une protéine nommée CFTR. Celle-ci est une protéine membranaire qui possède un rôle très important dans la régulation des mouvements ioniques et hydriques au niveau des épithélia. Chez un sujet sain, les mouvements ioniques à travers l'épithélium, et notamment des ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+) créent un gradient osmotique au niveau local qui permet le passage de l'eau vers l'épithélium. Le bon fonctionnement des canaux aqueux (aquaporines) et de certaines protéines, telle que la CFTR, est primordial pour conserver un liquide de surface bien hydraté et un équilibre dans l'association des ions Na^+ et Cl^- (Boucher, 2003). L'action de CFTR est également associée à celle des canaux sodiques ENaC, canaux liés à l'absorption des ions sodium (Na^+) au niveau épithélial. Le dysfonctionnement de CFTR dans la mucoviscidose conduit ainsi à la production d'un mucus déshydraté et visqueux, notamment par une absence de sécrétion des ions Cl^- au travers la membrane épithéliale. Il en résulte un dysfonctionnement de la clairance mucociliaire au niveau de l'épithélium bronchique qui se traduit par une accumulation du mucus dans les bronches.

Actuellement, près de 2000 mutations du gène CFTR ont été découvertes et recensées comme générant une altération ou une absence de la production de la protéine CFTR (Cystic Fibrosis Mutation Database, 2012). Il apparaît toutefois que seules quelques mutations présentent une fréquence d'apparition élevée. Ainsi, la mutation la plus fréquemment observée est nommée ΔF508 , correspondant à une modification de nucléotides au niveau du gène codant pour la protéine et conduisant à une déplétion d'un acide aminé de type phénylalanine en position 508. Cette mutation ΔF508 représenterait environ 2/3 des mutations connues du gène CFTR à l'heure actuelle. Les autres mutations ne représentent, quand à elles, qu'à peine 2-3% des mutations constatées. L'identification des gènes demeure importante car une relation plus ou moins importante entre le génotype (correspondant à la mutation génétique) et le phénotype (correspondant aux manifestations cliniques observables) a été mis en évidence il y a plusieurs années et pourrait être à l'origine, du moins en partie, de la diversité des troubles observés dans

la mucoviscidose et des différents niveaux de sévérité constatés (Bienvenu, 2003; Girodon-Boulandet et Costa, 2005).

2. Impact de la mucoviscidose sur les différentes fonctions physiologiques

Différentes fonctions du corps humain sont touchées par la mucoviscidose, et parmi elles, les dysfonctionnements de l'appareil respiratoire et du tractus gastro-intestinal, sont les principales causes de morbidité et de mortalité qui lui sont liées.

2.1. Fonction respiratoire

2.1.1. Obstruction bronchique

L'atteinte respiratoire est majeure dans la mucoviscidose et serait à l'origine de la majorité des décès qui lui sont liés. Le contrôle et le maintien de la fonction respiratoire au plus haut niveau possible représentent alors un enjeu essentiel dans la prise en charge du patient atteint de mucoviscidose. A la naissance, les poumons d'un sujet atteint de mucoviscidose sont identiques à ceux d'un sujet normal sur le plan structurel. Le premier symptôme de l'atteinte respiratoire est une toux chronique, initialement sèche puis devenant grasse. Du fait de la modification de l'équilibre hydrique et ionique dans les bronches, le mucus s'accumule dans le système de conduction bronchique, et induit à moyen terme une obstruction bronchique. Celle-ci est caractérisée par une diminution progressive de paramètres pulmonaires tels que le volume expiré maximal en 1 seconde (VEMS, exprimé en Litres) et du rapport VEMS/Capacité Vitale (CV), mesurés par spirométrie. Chez les patients atteints de mucoviscidose, les volumes pulmonaires non mobilisables sont également augmentés, et

notamment le volume résiduel (VR) et la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). Une corrélation négative a été mise en évidence entre l'âge du patient atteint de mucoviscidose et les différents paramètres de la fonction pulmonaire (CVF, VEMS, Débit Expiratoire Moyen entre 25 et 75% de la CVF (DEM25-75%)) (Brown et coll., 1996). L'obstruction bronchique va également induire l'installation d'un cercle vicieux sur la fonction pulmonaire. Ce cercle vicieux, en progressant, va induire une destruction progressive des tissus pulmonaires et des voies aériennes ainsi qu'une éventuelle défaillance du système respiratoire (Holsclaw, 1992).

2.1.2. Inflammation bronchique

Chez les patients atteints de mucoviscidose, il a été observé un état inflammatoire bronchique chronique. Certains auteurs suggèrent un processus inflammatoire bronchique intrinsèque aux cellules épithéliales des patients atteints de mucoviscidose. L'amincissement de la couche du liquide à la surface des cellules épithéliales perturbe l'appareil mucociliaire et l'activité anti-microbienne. Cet environnement, en plus de l'obstruction bronchique et de la stimulation intrinsèque des cellules épithéliales, favorise les infections bactériennes, initiant ainsi une réponse inflammatoire inefficace contre ces pathogènes. Ce phénomène serait amplifié par la colonisation à certains pathogènes et bactéries (par exemple *Haemophilus Influenzae*, *Staphylococcus Aureus* ou *Pseudomonas Aeruginosa*) et vont provoquer une dégradation et une exacerbation aigue de l'atteinte pulmonaire. Ces épisodes récurrents d'infections et d'inflammations mènent à la destruction progressive du tissu, à sa fibrose ainsi qu'à une déficience respiratoire (Pilewski and Frizzell, 1999).

2.1.3. Evolution vers l'insuffisance respiratoire

La dégradation progressive de la fonction pulmonaire va aboutir inexorablement à une insuffisance respiratoire majeure, définie comme une incapacité du système respiratoire à assurer l'hématose et qui sera souvent à l'origine du décès du patient. En effet, les modifications structurelles et fonctionnelles de l'arbre bronchique sont à l'origine d'une disparité entre la ventilation alvéolaire et la perfusion sanguine, cette disparité augmentant avec la sévérité de la pathologie (Webb et coll., 1995). Cette disparité se traduit par une augmentation de la différence artério-veineuse en oxygène, symbole de la dégradation des capacités d'échanges gazeux au niveau pulmonaire et qui sera à l'origine de l'inefficacité du système respiratoire à réoxygéner le sang veineux.

2.2. Fonction gastro-intestinale

L'atteinte du tractus gastro-intestinal chez les patients atteints de mucoviscidose touche essentiellement la fonction digestive. En effet, les manifestations de l'atteinte gastro-intestinale concernent les intestins, le pancréas et le système hépato-biliaire (Davies et coll., 2007 ; Orenstein et coll., 2002 ; Staab, 2004). Ces différents troubles peuvent se manifester différemment selon les patients.

2.2.1. Manifestations intestinales

Les manifestations intestinales peuvent être observées dès les premiers jours de la période néo-natale, avec l'apparition, chez environ 1 nouveau né sur 5, d'un iléus méconial. Ce trouble se définit par une occlusion de méconium (matière fécale du nouveau-né) au niveau intestinal. Par la suite, chez le jeune enfant atteint de mucoviscidose, peut se développer le syndrome de l'occlusion intestinale distale (SOID), concernant l'intestin grêle.

Enfin, différents autres troubles peuvent être observés comme des reflux gastro-oesophagiens fréquents et ne s'atténuant ni avec l'âge, ni avec la croissance. Des phénomènes de prolapsus rectal peuvent également se développer et sont généralement caractéristiques d'une mucoviscidose, favorisés par un volume de selles grasses plus important.

2.2.2. Manifestations pancréatiques

Une insuffisance pancréatique de la fonction exocrine est observée chez 85 à 90% des enfants atteints de mucoviscidose. Celle-ci se développe à la naissance ou lors de la première année de vie. Les principaux symptômes témoignant de l'insuffisance pancréatique sont des selles grasses, des flatulences ou des ballonnements au niveau abdominal. Ces symptômes seraient principalement expliqués par un défaut d'absorption des graisses, des protéines et des vitamines liposolubles (Vitamines A, D, E et K notamment), plaçant l'enfant dans un état de malnutrition du fait de la malabsorption des nutriments. L'évolution à plus ou moins long terme de l'insuffisance pancréatique est une stéatorrhée (présence anormale de lipides dans les selles due à une absorption inefficace des lipides au niveau intestinal), une carence en vitamines et un phénomène de malnutrition. Ainsi, le traitement de l'insuffisance pancréatique (souvent par une ingestion calorique appropriée et la prise d'extraits pancréatiques de substitution) est un élément essentiel dans la prise en charge et dans le contrôle de la mucoviscidose. Le contrôle de la masse corporelle est un élément indispensable dans le contrôle de la fonction pancréatique, tout comme le contrôle des paramètres spirométriques dans le contrôle de la fonction respiratoire. Ce contrôle régulier de la prise de poids permet de s'assurer de l'efficacité de la prise en charge. En effet, l'insuffisance pancréatique, de par les phénomènes de malabsorption et de malnutrition, va induire une perte de masse corporelle et un retard de croissance caractérisé par une masse corporelle et une taille inférieures chez les enfants atteints

de mucoviscidose par rapport à des enfants sains de même âge. Un retard pubertaire peut également être observé.

La destruction des îlots de Langerhans du pancréas liée à la maladie, favorise le développement avec l'âge d'une insuffisance en insuline associée à une tolérance au glucose globalement conservée. Cette atteinte de la fonction endocrine induit à long terme l'apparition d'un diabète chez environ 15 à 30% des patients. Ce diabète est dit « spécifique à la mucoviscidose » car de multiples facteurs propres à la maladie vont être associés au métabolisme du glucose. Ainsi, la diminution de sécrétion insulinique est compensée dans un premier temps par une augmentation de la production de glucose au niveau hépatique et par une augmentation de sa consommation au niveau périphérique, permettant ainsi le maintien de la tolérance au glucose malgré l'insuffisance insulinique. D'autres mécanismes vont également influencer le métabolisme du glucose, comme un métabolisme de base plus élevé, l'existence d'infections aiguës et chroniques, une déficience du glucagon ou un travail respiratoire plus élevé, mécanismes induisant une utilisation plus importante du glucose. Toutefois, à long terme, les patients ne seront plus en mesure de neutraliser les effets de l'insuffisance insulinique et développeront un diabète spécifique à la mucoviscidose.

2.2.3. Manifestations hépatobiliaires

Les fonctions hépatique et biliaire, de part leur fonction sécrétrice, sont également des fonctions atteintes dans le cas d'une mucoviscidose. Cette atteinte va se traduire notamment par des cas de cirrhose biliaire, symptôme restant toutefois peu répandu (environ 15 à 20% des cas d'atteinte hépatobiliaire). Cette cirrhose biliaire est souvent accompagnée d'hémorragies digestives ou d'hypertension portale. Des cas de cholectase, c'est-à-dire une stagnation de la bile causée par l'épaississement de cette dernière, sont également constatés en

période néo-natale et pourront évoluer vers un ictère (jaunisse). Enfin, des calculs biliaires sont également des signes d'une atteinte hépatobiliaire dans la mucoviscidose.

3. Effet de la mucoviscidose sur la tolérance à l'effort et les adaptations physiologiques à l'exercice

Dans la littérature, un consensus semble émerger sur l'impact de la mucoviscidose sur la capacité aérobie et la tolérance à l'effort du sujet. En effet, de nombreuses études rapportent une très forte corrélation entre le niveau d'atteinte de la fonction pulmonaire (notamment le niveau de sévérité de l'obstruction bronchique), le statut nutritionnel et la capacité aérobie du sujet (Coates et coll., 1980; Lands et coll., 1992; Webb et coll., 1995; Nixon, 1996; Gulmans et coll., 1997). Ainsi, la mucoviscidose induit une diminution de la tolérance à l'effort, caractérisée par une diminution de la capacité aérobie (diminution de la consommation maximale d'oxygène) et de la capacité d'exercice maximale (diminution de la puissance maximale aérobie). Nixon (2003) rapporte que les sujets peu atteints par les effets de la mucoviscidose présentent une aptitude aérobie normale ainsi que des réponses cardiorespiratoires normales lors d'exercices aigus. Toutefois, chez des sujets plus atteints, Blau et coll. (2002) ont rapporté des valeurs de consommation maximale d'oxygène avoisinant 84% de la valeur théorique. Cette atteinte de la tolérance à l'effort et de la capacité d'exercice serait reliée de manière importante à la survie du patient atteint de mucoviscidose (Nixon et coll., 1992). En d'autres termes, plus la tolérance à l'effort est préservée, plus le pronostic vital et la survie du patient seront élevés. Cette relation soulève l'importance de promouvoir la pratique d'une activité physique régulière, adaptée aux capacités de chaque patient, dans la prise en charge multidisciplinaire de la mucoviscidose.

Sur le plan ventilatoire, la mucoviscidose induit, de manière plus ou moins précoce en fonction du phénotype observé, un phénomène d'hyperventilation à l'effort associé à une distribution anormale de la ventilation. Ainsi, au cours de l'exercice aigu, les patients atteints de mucoviscidose vont atteindre de plus hautes valeurs de ventilation afin de compenser l'obstruction bronchique et l'augmentation de l'espace mort (Godfrey et Mearns, 1971 ; Webb et coll., 1995 ; Nixon, 2003). Cette hyperventilation d'exercice est caractérisée par une fréquence respiratoire élevée et un volume courant diminué (Coates et coll., 1988 ; Thin et coll., 2004). La diminution de la capacité vitale observée chez les patients réduirait les possibilités d'augmentation du volume courant à l'effort (Webb et coll., 1995). Des valeurs élevées au niveau des équivalents respiratoires viennent également confirmer ce phénomène d'hyperventilation chez les sujets atteints de mucoviscidose (Cerny et coll., 1982). L'une des conséquences de cette hyperventilation d'exercice est une augmentation du travail et du coût en oxygène de la respiration, passant de 10 – 15% de la consommation d'oxygène totale chez le sujet sain à 35 – 40% chez le sujet atteint de mucoviscidose (Webb et coll., 1995). De plus, cette hyperventilation pourrait avoir un impact important dans l'apport d'oxygène au niveau des muscles mis en jeu pendant l'exercice et sur l'apparition de contraintes mécaniques ventilatoires au cours de l'exercice. En effet, l'hyperventilation caractérisée par une ventilation superficielle aurait pour conséquence une part plus importante du volume courant ne participant pas aux échanges gazeux et restant dans l'espace mort des voies aériennes (Thin et coll., 2004). Ainsi, l'air participant aux échanges gazeux ne serait pas entièrement renouvelé, diminuant la part de l'oxygène dans l'air inspiré participant aux échanges gazeux. De plus, ce phénomène de ventilation superficielle pourrait être à l'origine de l'apparition de contraintes mécaniques ventilatoires au cours de l'exercice. Ce phénomène serait notamment confirmé par l'apparition d'une limitation ventilatoire à l'exercice, vérifié par des réserves ventilatoires de fin d'exercice (rapport entre la ventilation minute à la ventilation minute maximale volontaire) souvent

inférieures aux valeurs considérées comme normales, généralement aux alentours de 20 – 30% (Nixon, 2003). Quelques études se sont intéressées à l'atteinte de la fonction ventilatoire dans la mucoviscidose en utilisant la méthodologie des courbes débit/volume (Regnis et coll., 1991 ; Regnis et coll., 1996 ; Babb, 1999 ; Goetghebeur et coll., 2002 ; Thin et coll., 2004). Des valeurs de volume de réserve expiratoire (VRE) diminuées au repos ont été mis en évidence chez les sujets atteints de mucoviscidose par rapport aux sujets contrôles (Thin et coll., 2004). En revanche, durant l'exercice, le VRE était significativement augmenté par rapport aux valeurs de repos et était associé à une diminution significative du volume de réserve inspiratoire, traduisant un phénomène d'hyperinflation dynamique (Thin et coll., 2004). De plus, des cas de limitations du débit expiratoire ont été rapportés pour chacun des sujets atteints de mucoviscidose contrairement aux sujets contrôles (Thin et coll., 2004). L'apparition de limitation du débit expiratoire serait également observée pendant la réalisation d'un exercice incrémental, que ce soit chez des enfants sains ou chez des enfants atteints de mucoviscidose (Borel et coll., In press). Cette atteinte de la fonction ventilatoire, par une ventilation superficielle et par l'apparition de contraintes mécaniques ventilatoires, aurait ainsi un impact direct sur la tolérance à l'effort chez les enfants atteints de mucoviscidose.

La fonction musculaire serait également atteinte dans le cas d'une mucoviscidose. En effet, différents travaux scientifiques auraient permis de mettre en évidence que les patients atteints de mucoviscidose présenteraient une force musculaire diminuée par rapport aux sujets contrôles (Orenstein et coll., 2004). Cette atteinte de la force musculaire serait principalement due à une diminution de la masse musculaire et non à une diminution de la capacité contractile du muscle (Elkin et coll., 2000). De plus, cette perte de force musculaire serait accompagnée d'une diminution de l'efficacité musculaire, provenant probablement d'une diminution de la capacité oxydative du muscle ou d'une altération du couplage entre la production aérobie d'adénosine triphosphate (ATP) et son transfert/utilisation cellulaire au contact des myofibrilles

(de Meer et coll., 1995). Ainsi, en plus de l'impact d'une diminution des fonctions pulmonaire et nutritive, une atteinte de la fonction musculaire périphérique pourrait également être à l'origine de la diminution de la tolérance à l'effort observée chez l'enfant atteint de mucoviscidose.

A l'inverse de la fonction pulmonaire, digestive et musculaire, les fonctions du système cardiovasculaires sont généralement aptes à fournir et maintenir un effort, ne limitant pas la tolérance à l'effort chez les patients atteints de mucoviscidose. En effet, la fréquence cardiaque et la tension artérielle, principaux paramètres de la fonction cardiovasculaire, ne sont pas compromises dans la mucoviscidose, excepté dans des niveaux de sévérité élevés.

4. Bénéfices de l'activité physique chez l'enfant atteint de mucoviscidose

L'introduction de l'activité physique dans la prise en charge thérapeutique de l'enfant atteint de mucoviscidose est désormais reconnue (Rand et Ammani Prasad, 2012). Celle-ci facilite le drainage bronchique, un des points clé dans le traitement de la mucoviscidose, et permet un meilleur pronostic vital. Les paragraphes suivants vont tenter d'apporter des éclaircissements sur : les effets de l'entraînement, les principes de l'entraînement, les règles de sécurité et comment faire adhérer l'enfant à l'activité physique.

4.1. Effets de l'entraînement

4.1.1. Effets de l'entraînement aérobie de type continu

Klijn et coll. (2003) ont mis en évidence sur une étude longitudinale de 2 ans une relation positive entre l'augmentation de la consommation pic d'oxygène (VO_{2pic})

et un moindre déclin de la fonction pulmonaire. Cette étude a porté sur 65 enfants âgés en moyenne de $10,5 \pm 2,9$ ans avec un VEMS moyen de $92,6 \pm 20,5\%$ de la valeur théorique. Ces données sont relativement importantes dans la mesure où la VO_{2pic} diminue progressivement chez l'enfant atteint de mucoviscidose en l'absence de pratique régulière d'activité physique, or la VO_{2pic} est un facteur de pronostic vital (Nixon et coll., 1992). D'autres études confirment cette augmentation de VO_{2pic} associée à un entraînement aérobie (Turchetta et coll., 2004 ; Gulmans et coll., 1999) y compris lorsque les enfants sont hospitalisés pour infection pulmonaire (+ 21,6%), (Selvadurai et coll., 2002). Dans cette dernière étude, si l'entraînement aérobie a bien participé à l'augmentation de VO_{2pic} , la guérison de l'infection est aussi liée en partie à cette progression. L'intérêt de cette étude est d'avoir divisé les enfants en 3 groupes : un groupe d'enfants engagés dans un entraînement aérobie (AE), un groupe d'enfants engagés dans un programme de musculation (Muscu) et un groupe d'enfant ayant une prise en charge traditionnelle (GC). Les différentes prises en charge ont mis en évidence que le groupe AE présentait une VO_{2pic} plus élevée que le groupe Muscu qui présentait lui-même une VO_{2pic} plus élevée que le GC. De plus, un mois après l'hospitalisation, le groupe d'enfants ayant été entraînés en aérobie présentait un niveau d'activité physique plus élevé que les 2 autres groupes permettant l'entretien d'un niveau élevé de VO_{2pic} . La revue de littérature de Williams et Stevens (2013) conclut que l'activité physique doit être incluse à l'hôpital lorsque les enfants sont admis pour infection pulmonaire. L'utilisation de tests de terrain pour mesurer l'évolution de l'aptitude aérobie, comme le shuttle test, outil très classiquement utilisé, démontre également une augmentation de l'aptitude aérobie suite à un programme d'entraînement (Paranjape et coll., 2012 ; Urquhart et coll., 2012).

Si l'entraînement aérobie semble influencer de façon positive la VO_{2pic} , le résultat est beaucoup moins évident concernant une amélioration de la fonction pulmonaire. Chez des enfants divisés selon une tranche d'âge : 6-10 ans, 11-14 ans et 15-18 ans, seuls les

plus jeunes et ceux qui avaient les meilleures valeurs spirométriques de base présentaient un VEMS et une CV plus élevés suite à l'entraînement aérobic (Gruber et coll., 2008). L'étude de Selvadurai et coll. (2002) a démontré une augmentation du VEMS (+6,54%) mais à l'entrée de l'étude les enfants présentaient une infection pulmonaire. Enfin, de nombreuses études font état d'un maintien de la fonction ventilatoire ce qui est déjà un résultat positif face à des groupes contrôles qui voient leur fonction pulmonaire souvent décliner sur la même période (Schneiderman-Walker et coll., 2000 ; Turchetta et coll., 2004 ; Parajanpe et coll., 2012 ; Gulmans et coll., 1999 ; Urquhart et coll., 2012).

Le maintien de la masse du corps de l'enfant ou son augmentation est également un facteur à privilégier pour un état de maintien de bonne santé. A ce propos, les études ont démontré une absence de perte de masse chez les enfants qui s'engagent dans une activité physique (Paranjape et coll., 2012) voire une augmentation de celle-ci (Gruber et coll., 2008). Pour compenser l'augmentation de dépense énergétique, une prise de boissons énergétiques peut être suggérée, sans forcément de compléments alimentaires associés (Gulmans et coll., 1999 ; Hind et coll., 2008) mais ce paramètre reste souvent peu précisé dans les études.

Les intérêts de ce type d'entraînement permettent une augmentation de la capacité et puissance aérobic, un maintien voire une augmentation de la fonction respiratoire et du poids du corps.

4.1.2. Effet d'un entraînement intermittent

Ce type d'entraînement, alliant haute intensité entrecoupée de période de récupération active, est actuellement très peu développé mais très prometteur en termes de progression et d'adhérence de l'enfant à ce type de programme. Klijn et coll. (2004) et Hulzebos

et coll. (2010) ont démontré une augmentation de la puissance maximale aérobie (PMA) de 12 et 16% respectivement, sans augmentation significative de la VO_{2pic} dans l'étude de Klijn et coll. (2004) lorsque celle-ci est ramenée à la croissance de l'enfant ; par contre les enfants du groupe contrôle ont présenté une diminution de VO_{2pic} de 5,6% lorsque celle-ci est également ramenée à la croissance de l'enfant. La puissance maximale anaérobie progresse de 11% et la PMA de 7,9% (Klijn et coll., 2004).

Les intérêts majeurs de ce type d'entraînement permettent de maintenir l'adhérence de l'enfant à l'activité physique par une augmentation de la motivation (exercices moins répétitifs), une augmentation de la fonction aérobie, une augmentation de la force musculaire car ce type d'entraînement propose des intensités plus élevées qu'un entraînement de type continu et enfin il mobilise de façon moins importante la fonction ventilatoire. La durée courte de l'exercice à haute intensité n'a pas le temps de stimuler les centres respiratoires (pour une explication détaillée de la durée et de l'intensité de l'exercice, se reporter au paragraphe 5.2).

4.1.3. Effet d'un entraînement mixte

Sosa et coll. (2012) ont proposé un programme d'entraînement mixte : entraînement aérobie continu à la FC correspondant au 1^{er} seuil ventilatoire (20 minutes en début d'entraînement pour atteindre 40 min) suivi d'un entraînement fait d'ateliers de musculation. L'intensité a démarré à 40% de 5 RM, c'est-à-dire une intensité d'exercice calculée à partir du poids que l'enfant est capable de soulever maximum 5 fois, pour atteindre 60% de 5 RM. La VO_{2pic} et la force musculaire sur 8 semaines ont significativement progressé sans modification dans le groupe contrôle.

Les intérêts majeurs de ce type d'entraînement sont que l'accumulation des bénéfices sur différentes fonctions physiologiques est possible : amélioration de la fonction musculaire, ventilatoire et aérobie. De plus, la motivation de l'enfant à continuer cette pratique physique mixte reste élevée.

5. Modalités de l'entraînement physique

5.1. Entraînement aérobie de type continu (Tableau 1)

Au regard de la littérature, il est nécessaire de privilégier une intensité modérée à élevée, sur une durée de 20 minutes (en début d'entraînement) pour atteindre 30 à 40 minutes pour une forme d'entraînement continue de préférence au moins 3 fois par semaine. En termes de fréquence cardiaque ou de puissance, l'intensité de l'exercice démarre à 50% de PMA pour atteindre 70% de PMA (Gulmans et coll., 1999). Sur tapis roulant, les données sont de 60% pour atteindre 80% de la FCmax mesurée (Turchetta et coll., 2004) ; sur tapis roulant non motorisé la valeur à atteindre dès que possible est de 70% de la FCpic mesurée (Selvadurai et coll., 2002). L'intensité de l'entraînement peut également être déterminée à partir des résultats obtenus suite à un shuttle test ou la FC d'entraînement démarre à 60% de la FCpic mesurée au shuttle test pour atteindre 80% de la FCpic (Urquhart et coll., 2012). Enfin, un stepper sur lequel l'enfant peut se tenir (stair-stepping) peut également être utilisé. Dans ce cas, l'étude d'Orenstein et coll. (2004) a proposé une intensité d'entraînement à atteindre le plus rapidement possible à 70% de la FCpic pendant 30 minutes. A titre indicatif, la 1^o séance n'a duré que 5 minutes avec une intensité inférieure à 70% FCpic, sans plus de précision. En ce qui concerne l'ajustement de l'intensité d'exercice au fur et à mesure de la durée de la prise en charge, l'étude de Turchetta et coll. (2004) propose une augmentation de l'intensité de l'exercice de 10% toutes

les 4 semaines alors que l'étude de Gulmans et coll. (1999) propose une augmentation de l'intensité de 10% chaque semaine. Pour ces deux études, la différence majeure est le nombre de séances par semaine, 5 fois versus 2 fois, qui peut expliquer un réajustement de l'intensité si différent. L'ajustement de l'intensité, quoi qu'il en soit, doit se faire en fonction du ressenti de l'enfant (pénibilité ou pas de l'exercice en fonction de l'intensité proposée en utilisant éventuellement une échelle de Borg) en proposant chaque semaine une augmentation de 5 à 10% de l'intensité puis une augmentation de la durée de l'exercice.

5.2. Entraînement aérobic de type intermittent (Tableau 1)

L'intensité à atteindre est presque maximale sur des durées très courtes. Contrairement à l'enfant « sain », des intensités maximales ou supra-maximales (à vitesse ou au-delà de la vitesse maximale aérobic) sont déconseillées. Le principe de la récupération suite à une série d'exercice est de 1/3 (pour 30'' d'exercice, 1min30 de récupération), entre 2 séries, attendre 5 minutes de récupération peu active. Quelques exemples d'exercices sont présentés : 1/ enchaîner 10 sprints de 5 mètres par des allers retours pendant 30 secondes (= 1 série), récupération entre chaque série 1min 30, 5 séries ; attendre 5 minutes de récupération peu active pour proposer une autre série d'exercice ou cette même série ; 2/ Faire 2 cercles espacés de 3 mètres, dans un cercle mettre 1 ballon, se placer dans le cercle où il y a le ballon, sur 30'' déplacer le ballon d'un cercle à l'autre, compter le nombre de transferts, même nombre de séries ; 3/ Tracer 2 lignes parallèles espacées de 5 mètres, mettre un obstacle à sauter au milieu des 5 mètres, faire le maximum d'aller et retour en 30'' en allant d'une ligne à l'autre ; même consigne pour la récupération et le nombre de séries (Klijn et coll., 2004). Hulzebos et coll. (2010), sur une étude de cas, proposent comme méthode d'alterner, sur cycloergomètre, 60 secondes de faible intensité (30% PMA mesurée) et 30 secondes d'intensité élevée. La haute

intensité est définie de la façon suivante : 1^o semaine, 50% PMA mesurée suivie d'une augmentation de 10% par semaine jusqu'à 90% de PMA. Le nombre de répétitions débute à 10 intervalles (60''/30'' = un intervalle) pour augmenter de 2 intervalles à chaque semaine et terminer à 20 intervalles.

5.3. Entraînement en musculation

Ce type d'entraînement peut se faire sous forme de parcours en passant par des appareils de musculation et intéressant toutes les parties du corps (membres supérieurs, inférieurs, abdominaux). Dans ce cas, les quelques études disponibles proposent des intensités en fonction d'un pourcentage de force musculaire maximale. La force musculaire maximale est appelée 1RM c'est-à-dire que l'enfant peut soulever la charge une seule fois ; ou alors 5RM dans ce cas l'enfant peut soulever maximum 5 fois cette force. 1RM peut se mesurer de la façon suivante : pour le développé-couche et biceps brachial 1^o charge à 30% du poids du corps suivi d'une augmentation de 2,5%, 5% ou 10% selon la sensation de confort ressentie par l'enfant ; pour les cuisses (leg extension), commencer par 50% du poids du corps suivi d'une augmentation de 5%, 10% ou 15% selon la sensation de confort ressentie par l'enfant. Différents travaux ont proposé des entraînements de musculation mais les programmes ne sont pas explicités ou si vaguement qu'il est impossible de les présenter et d'en retirer des recommandations mêmes minimales (Urquhart et coll., 2012). Orenstein et coll. (2004) précisent que la FC ne doit pas dépasser 55% de la FCmax mesurée. Seule, l'étude de Sosa et coll. (2012) permet une reproductibilité de la méthodologie. Il s'agissait d'enchaîner 3 circuits composés de 11 exercices de renforcement musculaire. Sur chaque atelier, l'enfant devait répéter 12 à 15 fois le mouvement sans temps de récupération entre chaque atelier. L'intensité a démarré à 40% de 5 RM, pour atteindre 60% de 5 RM.

5.4. Entraînement par des techniques non standardisées : trampoline, sports de ballons...

La clé de la réussite dans l'entraînement est l'adhérence de l'enfant à la pratique physique. Dans ce cadre, l'activité trampoline a été proposée à des enfants afin de maintenir leur motivation. Les résultats ont démontré un gain de VO_{2pic} moyen de 9,2% à raison de 109 minutes par semaine pendant huit semaines. Malgré cette évolution, cette activité est fortement déconseillée non pas par rapport à la maladie mais par les risques de traumatisme qu'elle peut engendrer (fractures, entorses...) y compris chez l'enfant sain (Barak et coll., 2005). En d'autres termes, si les consignes de sécurité sont draconiennes, l'activité trampoline n'est pas contre-indiquée. L'étude de Gruber et coll. (2008) s'est attachée à proposer un programme d'entraînement multisports (course, équilibre, musculation, jeux de ballons, marche nordique, natation, stretching) tout en gardant une intensité sous - maximale (sans donner plus de précision). Ce programme multi-sport a permis une augmentation de la capacité aérobie associée à une fonction musculaire et un équilibre meilleurs. La diversité des activités sportives a permis l'amélioration de divers composants de la condition physique ce qui n'est pas possible avec un entraînement visant le développement d'une fonction spécifique. A travers ce paragraphe, on peut s'apercevoir que les études s'intéressant à une activité physique ludique, non standardisée sont très peu nombreuses. Ce manque d'intérêt provient de la longueur à retranscrire l'entraînement réalisé par les enfants sur le plan de la publication de l'article, à codifier objectivement le niveau d'intensité atteint, le manque de personnel formé à ce type d'entraînement. Mais, si l'on garde à l'esprit que le but premier est l'adhésion de l'enfant à la pratique physique, c'est vers ce genre de programmes qu'il faut se tourner (Prasad et Cerny,

2002 ; Wilkes et coll., 2009) d'autant qu'il est désormais possible de mettre un cardiofréquencemètre qui peut enregistrer la FC tout au long de la séance.

6. Barrières à l'activité physique

Les infections répétées, les hospitalisations qui peuvent en découler, la longueur des soins quotidiens (plus de 60 minutes par jour), les visites régulières de suivi médical, les complications de la maladie (diabète, fatigue...), la malnutrition, le sentiment d'incompétence face à l'exercice (fonction ventilatoire, aérobie et musculaire défaillantes) et la sur-protection des parents sont autant de facteurs que l'enfant doit combattre pour réaliser une activité régulière. De plus, les enfants atteints de mucoviscidose ne peuvent pas être regroupés en un lieu unique à cause des infections bactériennes croisées qu'ils pourraient se transmettre. Dans ce contexte, en hospitalisation, en ambulatoire ou à la maison, l'enfant pratique souvent seul ou avec des adultes une activité physique peu ludique : tapis roulant ou cycloergomètre dans un contexte social (présence que d'adultes) peu favorable pour un maintien de la motivation. Il n'est par contre, pas du tout contre-indiqué de licencier un enfant dans un club sportif. De nombreuses activités physiques peuvent ne pas être basées que sur la compétition : roller, tennis, escalade, danse, aerobic...

7. Règles de sécurité

La mucoviscidose favorise la déshydratation. Au cours des séances d'activité physique, il est impératif de faire boire l'enfant toutes les 15 à 20 minutes. Une ambiance chaude et/ou humide va d'autant plus accélérer le phénomène de déshydratation sans que l'enfant n'éprouve

une sensation de soif. L'eau, additionnée de sel, permettant la rétention de l'eau, est souvent préconisée (Williams et coll., 2010).

Il faudra s'assurer que l'oxygénation du sang artériel est suffisante par la mesure de la saturation artérielle en oxygène (SaO₂) qui doit rester supérieure à $\geq 90\%$, ce qui est facilement vérifiable à l'aide d'un saturomètre portable.

La mucoviscidose s'accompagne souvent de facteurs de co-morbidités comme le diabète. Dans ce cas, en sus des recommandations s'appliquant à la mucoviscidose, il convient de s'intéresser au contrôle et au suivi de la glycémie de l'enfant.

8. Critiques méthodologiques

Il est très difficile de généraliser les effets de l'activité physique chez l'enfant atteint d'une mucoviscidose bien que l'exercice physique fasse partie intégrante de la prise en charge thérapeutique. Les raisons en sont multiples : 1/ L'âge des enfants inclus dans un même groupe est très variable : 12-24 ans (Turchetta et coll., 2004), 6-16 ans (Paranjape et coll., 2012), 5-15 ans (Sosa et coll., 2012) et 8-18 ans (Orenstein et coll., 2004). De nombreuses questions et réflexions restent en suspens : 1/ Quelle est la part de la croissance physique, pulmonaire, cardiaque, la prise de poids, la puberté ... sur les bénéfices qui apparaissent après une période d'entraînement ? Les effets sont-ils de grandeur similaire entre des enfants pré-pubères ou pubères ? 2/ Le phénotype de la mucoviscidose pourrait-il induire des effets différents. 3/ Toutes les études présentées se sont intéressées à des enfants présentant une mucoviscidose légère à modérée (100% à 50% du VEMS par rapport à la valeur théorique). La pratique d'une activité physique donne-t-elle les mêmes résultats en fonction de la sévérité de la mucoviscidose ? Comment s'adaptent les enfants présentant une mucoviscidose sévère ? 4/ La plupart des protocoles d'entraînement proposés manquent de précision surtout sur la

prescription de l'intensité de l'exercice, comment dans ce cas reproduire la même méthodologie quant celle-ci est efficace ? A partir de toutes ces questions sans réponse précise, les recommandations sur l'activité physique applicables à l'enfant présentant une mucoviscidose restent imprécises.

Conclusion

Les conseils généraux sur la façon de pratiquer une activité physique sont d'une part de 1/ coupler un entraînement spécifique au développement de la fonction musculaire (membres supérieurs, inférieurs, tronc) et un entraînement spécifique au développement de l'aptitude aérobie ; 2/ proposer des techniques d'entraînement utilisant l'exercice intermittent pour maintenir la motivation de l'enfant et particulièrement chez les enfants présentant une mucoviscidose sévère qui tolèrent mieux ce genre d'exercice qu'un exercice de type continu.

Malgré la variété des protocoles d'entraînement, la durée de la période de prise en charge, la durée des séances, l'intensité utilisée, le niveau de sévérité de la maladie, l'évidence montre qu'aucun programme d'entraînement n'a d'effet négatif sur la fonction pulmonaire, la force musculaire et l'aptitude aérobie.

Table 1 : Résumé des recommandations pour l'entraînement

| | Mucoviscidose légère à modérée (VEMS > 55%) | Mucoviscidose sévère |
|---|---|--|
| Activités recommandées Quelques exemples | Vélo, tennis, course, roller, aérobic (step...), musculation, randonnée, rameur (en salle) ou aviron, escalade, danse africaine, trottinette... | Parcours moteurs, exercices de renforcement musculaire (elastiband), gymnastique, pétanque, cycloergomètre, marche, tir à l'arc, jeu de quilles... |
| Méthode | Exercices intermittents et continus | Exercices intermittents |
| Fréquence | 3 à 5 fois par semaine | 5 fois par semaine |
| Durée | 30 à 45 minutes | 20 à 30 minutes |
| Intensité | 70 à 85% FCmax (de préférence mesurée et non pas théorique) | 60 à 80% FCmax mesurée |
| Supplémentation en oxygène | Oui si SaO ₂ < 90% au cours de l'exercice | Oui si SaO ₂ < 90% au cours de l'exercice |
| Activités à éviter | Plongée sous marine, sports à plus de 2500m d'altitude, sports de contacts si présence d'une chambre implantable et/ou rate et foie hypertrophiés | Plongée sous marine, sports à plus de 2500m d'altitude, sports de contacts |

FCmax : fréquence cardiaque maximale ; SaO₂ : saturation en oxygène

Partie 2 : L'enfant asthmatique et le sport

L'asthme est la maladie chronique la plus fréquente chez les enfants, touchant environ 10% des français de moins de 15 ans (Delmas et coll., 2012, Debrock et coll., 2002). Cette maladie chronique est responsable d'un taux important d'absences scolaires et de nombreuses dispenses de séances de sport ou d'éducation physique et sportive (EPS) (Blanc et coll., 2002). L'asthme est une maladie inflammatoire des bronches caractérisée par une hyperréactivité et une obstruction bronchique variable (Bousquet et coll., 2000). Lors d'une « crise d'asthme » caractérisée par un rétrécissement du calibre des bronches, les symptômes classiquement ressentis sont un essoufflement exagéré vécu comme une **difficulté à respirer** (« comme si l'enfant respirait à travers une paille »), un **sifflement** audible à l'expiration, une **toux**, et/ou une **oppression thoracique**. L'exercice physique peut être un facteur déclencheur d'asthme ; En moyenne 80% des enfants asthmatiques sont sujets à l'asthme induit par l'exercice (AIE), classiquement appelé 'asthme d'effort'. L'AIE apparaît généralement pendant ou à l'arrêt d'un effort intense maintenu pendant au moins 6 minutes (Karila, 2002, Van Leeuwen et coll., 2011).

Parmi les enfants **non asthmatiques**, certains peuvent être également sujets à un AIE, que l'on nomme plutôt bronchoconstriction induite par l'exercice (BIE), caractérisée par une obstruction des bronches à l'effort. C'est le cas notamment d'enfants sujets aux allergies respiratoires (Karila, 2002). Chez les enfants, l'asthme et le BIE sont bien souvent sous-diagnostiqués (Debrock et coll., 2002, Karila, 2002), notamment chez ceux qui ont un faible niveau d'activité physique et ceux avec un indice de masse corporelle (IMC) élevé. Certains enfants présentent également un BIE asymptomatique. L'entourage scolaire, sportif et familial devrait être attentif aux enfants qui évitent le sport, qui s'essoufflent rapidement à l'effort ou ont une respiration sifflante, notamment lors des cycles d'endurance en EPS ou des premières séances de sport.

1. Effets de l'asthme sur la condition physique et l'activité physique des enfants

1.1. Les obstacles à la pratique d'un sport chez l'enfant asthmatique

1.1.1. Les risques potentiels de l'exercice

La principale raison pour laquelle les enfants asthmatiques peuvent parfois éviter le sport est l'appréhension du déclenchement d'un BIE et des symptômes associés. La ventilation d'effort provoque une déshydratation et un refroidissement des voies aériennes, accepté comme étant le principal déclencheur de l'AIE ou BIE (Anderson, 2000). Plus l'exercice est intense et long, plus la ventilation d'effort est importante, plus les bronches s'assèchent, et plus le risque de développer un BIE est important ; un environnement froid et sec favorisera cette réaction (attention donc aux sports d'hiver en extérieur). Les atmosphères polluées et également trop chlorées sont également déconseillées, car elles sont susceptibles d'augmenter l'inflammation des voies aériennes et les dommages bronchiques, qui peuvent s'ajouter aux conséquences de l'effort (Utell et coll., 2009, Rundell 2012, Bernard et coll., 2006).

1.1.2. Le manque de connaissances et les croyances

De nombreux enfants asthmatiques ne pratiquent aucun sport en dehors de l'école, et le niveau d'activité physique général des enfants de la maternelle à l'adolescence peut-être normal (Dimitrakaki et coll., 2013, Eijkemans et coll., 2008, Kim et coll., 2012, Tsai et coll., 2012) ou diminué (Conn et coll., 2009, Firrincieli et coll., 2005, Glazebrook et coll. 2006, Kosti et coll., 2012, Williams et coll., 2010, Williams et coll. 2008) par rapport aux autres enfants (Eijkemans et coll., 2012). Il est probable que les enfants dont les symptômes d'asthme sont bien contrôlés ont un niveau d'activité physique quotidienne comparable à leurs

camarades, tandis que chez ceux ayant des symptômes d'asthme non contrôlés, il est diminué (Vahlkvist et coll., 2010, Vahlkvist et Pedersen, 2009). Pour tous, le temps passé dans les activités de haute intensité (mesuré par accélérométrie) est réduit par rapport aux enfants sains (Chiang et coll., 2006, Vahlkvist et Pedersen, 2009). La participation des enfants asthmatiques aux activités physiques est affectée par leurs croyances sur la maladie, celles des familles et des parents et les connaissances et attitudes des enseignants et personnels des écoles (Cheng et coll., 2010, Correira et coll., 2012, Sandsund et coll., 2011, Williams et coll., 2008, Williams et coll., 2010). Selon de nombreux enfants asthmatiques, la limitation des activités physiques est inévitable et 60 à 80% d'entre eux considèrent que malgré leurs efforts, ils sont incapables de pratiquer comme ils le désireraient (Cheng et coll., 2010, Glazebrook et coll. 2006). Ainsi, certains enfants asthmatiques adoptent des comportements d'évitement en EPS, en réalisant systématiquement des tâches d'arbitrage, de chronométrage, d'observation ou de gardien de but. Pour une majorité des parents d'enfants asthmatiques, l'asthme est également une barrière à la pratique d'une activité physique (Williams et coll., 2008, Williams et coll., 2010). Leurs croyances leur font restreindre inutilement l'activité physique de leurs enfants à cause de la non-compréhension des conseils donnés. Parmi les enseignants qui pensent que le sport est important pour l'asthme, beaucoup ne connaissent pas la médication, ne sont pas sûrs d'eux pour gérer une crise d'asthme, et beaucoup ne savent pas que l'enfant asthmatique peut être performant (Sandsund et coll., 2011). Pour de nombreux autres enseignants, l'asthmatique doit éviter l'activité physique.

1.2. Conséquences de la réduction de l'activité physique chez l'enfant asthmatiques

Au cours de l'exercice, les enfants asthmatiques présentent des débits ventilatoires exagérés à l'effort maximal et sous-maximal par rapport à des enfants non asthmatiques (Varray et coll., 1989). Cette hyperventilation dénote un mauvais rendement ventilatoire à l'effort (ventilation trop importante pour une même consommation d'O₂) et augmente le risque de développer un AIE et la sensation de dyspnée lors d'un effort. L'enfant asthmatique a donc une sensation subjective d'essoufflement plus importante que celle d'un enfant sain, ce qui risque de renforcer une attitude d'évitement des activités physiques (Varray et coll., 1989, Varray et coll., 1993). Pour éviter la sensation d'essoufflement, qui peut s'accompagner de sifflements, toux, d'oppression thoracique, les asthmatiques développent un mode de vie sédentaire. En effet, certains auteurs s'accordent à dire que **les enfants asthmatiques qui ont une diminution de leur temps d'activité physique hebdomadaire** passent plus de temps devant un écran (télévision, ordinateur, console) que leurs camarades sains ou asthmatiques ayant un niveau d'activité physique normal (Kim et coll., 2012, Conn et coll., 2009). En conséquence l'asthme s'accompagne chez eux d'une augmentation du pourcentage de masse grasse et de l'index de masse corporelle (IMC) (Conn et coll., 2009). Or, une corrélation positive a été montrée entre le pourcentage de masse grasse, le niveau de contrôle de l'asthme, la forme physique et le temps passé dans des activités physiques intenses (Tsai et coll., 2012, Vahlkvist et coll., 2010, Vahlkvist et Pedersen, 2009). Les enfants dont l'asthme n'est pas bien contrôlé sont moins en forme, ont un pourcentage de masse grasse plus important, et une diminution de leur activité physique ainsi que du temps passé à des intensités importantes. Ils sont probablement ceux qui développent régulièrement des symptômes à l'effort à de faibles intensités d'effort. Avec l'augmentation de la sédentarité, la prévalence de l'asthme semble également augmenter chez les 13-18 ans (Kim et coll., 2012).

Chez les enfants asthmatiques sévères ou dont l'asthme n'est pas contrôlé, il a été montré une diminution de la tolérance à l'effort, avec notamment une réduction de la

consommation maximale en oxygène ($VO_2\text{max}$), une réduction des puissances et capacités maximales aérobie et anaérobie (tests force-vitesse et Wingate), et des débits ventilatoires élevés (Counil et coll., 2001, Counil et coll., 1997, Varray et Préfaut, 1992). Ces adaptations peuvent s'expliquer en partie par une lactatémie et une acidose métabolique d'effort précoce, attribuables à la réduction de leur activité physique et l'augmentation du temps de sédentarité. L'endurance des quadriceps semble également diminuée, tandis que la force musculaire maximale des membres supérieurs et inférieurs est en général préservée (Villa et coll., 2011). La priorité chez ces enfants sera de réaliser des exercices cardio-respiratoires, combinant les processus aérobie et anaérobie, et d'endurance des muscles des membres inférieurs.

2. Bienfaits de l'activité physique et recommandations

2.1. Effets d'une activité physique régulière chez l'enfant asthmatique

Outre la lutte contre la sédentarité et ses méfaits, la pratique régulière d'une activité physique ou d'un sport revêt une importance toute particulière pour l'enfant asthmatique. De manière spécifique, la pratique régulière d'une activité physique permet une diminution des admissions hospitalières pour crise d'asthme, de l'absentéisme scolaire, des consultations de professionnels de santé, de la médication, et une amélioration de la qualité de vie et de l'aptitude des enfants à faire face à l'asthme (Chandratilleke et coll., 2012, Crosbie 2012, Wanrooij et coll., 2013, Welsh et coll., 2005). La perte de poids liée à la pratique régulière d'une activité physique peut parfois également diminuer les symptômes d'asthme chez les enfants obèses. La fonction pulmonaire de base est en général peu modifiée (Crosbie 2012). L'apparition et la sévérité du BIE ne sont en général pas modifiées mais le seuil de déclenchement du BIE intervient à des intensités d'effort plus élevées (Hallstrand et coll., 2000, Karila et coll., 2005, Varray et coll., 1989).

De nombreux asthmatiques pratiquent un sport de compétition, y compris des sports d'endurance, et lorsque leur asthme est bien traité et régulièrement suivi, leurs performances sont semblables à celles de leurs pairs, notamment aux Jeux Olympiques (Fitch, 2012).

En résumé, la pratique régulière d'une activité physique par l'enfant asthmatique est un facteur de protection contre le développement d'un BIE (Eijkemans et coll., 2012, Karila et coll., 2005, Wanrooij et coll., 2013). Toutefois, il faut prendre en compte certains facteurs pour une pratique sécuritaire, tels que l'intensité de l'effort (Carlsen et coll., 2000) et les conditions environnementales.

2.2. Recommandations

Dans l'ensemble, l'exercice physique est un bon témoin de contrôle de l'asthme chez les plus jeunes. L'effort, et notamment la course à pied en extérieur, peut également révéler la présence d'un BIE chez des enfants auparavant non diagnostiqués (test de provocation dit 'naturel') (Debrock et coll., 2002). Chez les enfants ne pratiquant pas ou peu d'activité physique, il est possible que lors des cours d'EPS à l'école ou lors de leurs premières séances de sport dans un club ou une association, ils développent des symptômes de BIE sans être des asthmatiques connus. Il est ainsi conseillé aux enseignants et entraîneurs d'être vigilants aux symptômes respiratoires des enfants et adolescents et de les orienter vers leur médecin de famille en cas de suspicion, qui les recommandera ensuite à un pneumologue.

Le rôle des différents acteurs de santé sera de convaincre l'entourage et les enfants asthmatiques qu'il ne faut pas arrêter l'activité physique à cause d'un asthme mais mieux traiter son asthme pour faire de l'activité physique normalement. Ainsi la pratique régulière d'une activité physique devrait être encouragée chez les jeunes asthmatiques dont

l'asthme est bien contrôlé que ce soit dans le milieu scolaire ou en dehors. Le rôle de l'entourage est primordial et les échanges entre le milieu médical, les familles, les acteurs du monde scolaire et l'enfant asthmatique ne peuvent qu'être encouragés.

Il existe également des réseaux d'éducation thérapeutique des personnes asthmatiques (par exemple, RESEDAA en Alsace ou les différents réseaux Asthme en France (Asthme76, Asthme44...)), qui sont un atout très important permettant une prise en charge optimale de l'asthme, en permettant l'amélioration des connaissances des personnes concernées et leur traitement. Ces réseaux devraient être connus des personnes asthmatiques et consultés par nombre d'entre elles ou par des personnes voulant s'informer sur cette pathologie.

2.2.1. Choix de l'activité physique ou du sport

Les enfants asthmatiques dont l'asthme est contrôlé par la médication n'ont en général pas de contre-indication à la pratique d'un sport ou d'une activité physique (excepté la plongée en bouteilles). Ils peuvent ainsi avoir accès au sport de leur choix. Les enfants, asthmatiques ou non, souffrants d'allergies respiratoires devraient préférentiellement traiter leurs allergies ou leurs symptômes nasaux (nez qui coule, obstruction nasale...) afin de réduire le risque de BIE et dans la mesure du possible éviter les sports qui les exposent aux allergènes (pollens, poils de chevaux, poussière...) (Kersten et coll., 2012). Par exemple un enfant allergique aux poils des chevaux devrait éviter de pratiquer régulièrement l'équitation et un enfant ayant des allergies saisonnières, même si le seul symptôme est une rhinite ou une conjonctivite, devrait traiter son allergie pour faire du sport dehors en été. Certains, même bien traités, ne parviendront néanmoins pas à faire du sport pendant la période des pollens auxquels ils sont allergiques, et dans ce cas, il faut éviter l'exposition aux pollens. Enfin, la mise en place d'un plan d'action rempli avec un médecin et/ou une infirmière pour aider l'enfant asthmatique

à contrôler correctement son asthme ou sa BIE devrait être envisagée (Anderson, 2012 , Feuillet-Dassonval et coll., 2005).

Pour les enfants asthmatiques dont l'asthme n'est pas contrôlé, qui présentent des symptômes d'asthme à l'effort, et qui ont tendance à ne pas pratiquer d'activité physique ou de sport, un retour progressif à l'activité physique doit être envisagé. Le choix d'activités non asthmogènes est à privilégier dans la mesure du possible pour les réconcilier avec l'exercice physique.

Les sports les plus **asthmogènes** sont ceux comportant des **déplacements rapides de manière répétée ou continue, avec inhalation d'air froid et sec** (course à pied, triathlon, cyclisme, ski de fond, biathlon, jeux ou sports de ballon, football). Un match de football ou de basketball sera plus asthmogène qu'un exercice de course à pied de faible intensité. Il n'est pas conseillé chez les enfants asthmatiques sujets au BIE de commencer l'année directement par un cycle d'endurance en course à pied en EPS, dans des conditions automnales ou hivernales (air froid et sec), ni lors de la période des pollens pour les enfants qui y sont allergiques. Assez systématiquement, les enfants risquent de se décourager dès la première séance et il sera d'autant plus difficile de les faire pratiquer de l'activité physique par la suite. Pour la pratique des activités physiques de pleine nature, il faut également tenir compte des conditions climatiques, et favoriser les sports réalisés en forêt, en montagne ou dans des endroits éloignés de la pollution (Kosti et coll., 2012). Les sports les mieux tolérés, du fait de l'atmosphère chaude et humide sont les activités aquatiques. En effet, à une même intensité d'effort, la natation provoque moins de BIE que le cyclisme ou la course à pied, en grande partie dû au fait du rôle protecteur de l'humidité dans l'air des piscines, réduisant l'assèchement des bronches lié à la ventilation d'effort (Bougault et al., 2004). Les enfants asthmatiques devraient toutefois éviter les piscines les jours où l'odeur de « chlore » est trop importante. L'inhalation de produits chlorés dans les piscines peut en effet déclencher un AIE.

2.2.3. Rôle de l'échauffement

L'échauffement peut avoir un rôle protecteur contre l'apparition d'un BIE à l'effort chez les asthmatiques légers. S'il peut réduire la sévérité du BIE, il n'en évite pas systématiquement l'apparition. Pendant l'échauffement, il faut éviter les arrêts prolongés, et de laisser trop de temps entre l'échauffement et la séance. Une dizaine de minutes est un délai raisonnable (De Bisschop et coll., 1999). Ainsi dans la mesure du possible, il faut réduire le temps d'explication après l'échauffement. Mieux vaut expliquer la séance aux enfants avant qu'elle ne commence et juste leur rappeler les points principaux après l'échauffement.

Les effets de diverses formes d'échauffement ont été testés sur l'apparition et la sévérité du BIE. Les résultats sont divergents, probablement du fait de l'hétérogénéité des mécanismes responsables du BIE chez les enfants asthmatiques. Les types d'échauffement étudiés sont les exercices continus, les exercices intermittents, les hautes intensités et les basses intensités. Il semblerait que dans des conditions standardisées, les échauffements les plus efficaces sur l'atténuation du BIE soient ceux comprenant des intervalles courts à haute intensité et ceux qui font varier les intensités d'exercice (Stickland et coll., 2012). Les exercices continus d'intensité faible ou élevée seraient moins efficaces dans la protection contre le BIE.

Certains auteurs ont montré qu'un exercice continu de 5 minutes à 85% de la fréquence cardiaque (FC) maximale théorique n'avait pas de rôle protecteur sur la sévérité du BIE (Morton et coll., 1979), tandis que d'autres ont observé une protection contre le BIE après un échauffement constitué de 15 minutes à 60% de VO₂ max chez des adultes (McKenzie et coll., 1994). Tandis que certains ont montré l'efficacité de la répétition de 7 sprints de 30 secondes, avec une récupération de 2 minutes 30 sec (Schnall et Landau, 1980), d'autres auteurs

n'ont pas observé d'effet bronchoprotecteur de 8 intervalles de 30 secondes à 100% de VO₂ max, séparés par une récupération de 1 minute 30 sec (McKenzie et coll., 1994).

Certains auteurs ont demandé à des enfants asthmatiques de réaliser un exercice asthmogène composé de 7 minutes de course à pied pendant lequel ils devaient atteindre la plus grande distance possible (De Bisschop et coll., 1999). Les auteurs ont remarqué qu'un même échauffement de 2 répétitions de 5 sprints courts (d'une durée de 20 à 30 secondes environ, pour une distance de 7,5% de la distance atteinte au test de 7 minutes), avec des récupérations de 1 minute 30 sec entre chaque sprint et 5 minutes entre chaque répétition, réalisés à 100%, 120% ou 130% de la vitesse moyenne atteinte au test de 7 minutes, n'avait pas le même effet protecteur sur l'apparition du BIE. Les plus efficaces étaient les exercices réalisés à 120% et 130%. Pour certains enfants, ce type d'échauffement permettrait de ne pas avoir recours à l'utilisation de bronchodilatateurs et leur permettrait donc de gagner en autonomie.

Dans l'ensemble, la réalisation d'exercices courts de sprints (20-30 secondes) entrecoupés de récupérations de 1 minute 30 sec semble appropriée pour les enfants asthmatiques. Au-préalable un exercice continu de faible intensité peut également être réalisé. Toutefois il convient que chaque enfant teste différents types d'échauffements et expérimente par lui-même leurs effets sur la sévérité de ses symptômes. Ainsi il est également important lorsque la séance comprend des intensités importantes (travail environ à 85% - 100% de la FC max) sur de longues périodes d'augmenter progressivement l'intensité de l'échauffement.

2.2.2. Choix de l'intensité, de la durée et du type d'effort

Pour les asthmatiques plus sévères ou qui sont suivis dans des centres pédiatriques prenant en charge les enfants asthmatiques, comme l'hôpital Necker, l'enfant apprend généralement à explorer ses limites et gérer son AIE (Karila et coll., 2005), avant de

s'inscrire dans des clubs sportifs et pratiquer l'activité sportive de son choix. Malheureusement pour la majorité d'enfants asthmatiques ne bénéficiant pas de ce type de suivi, il n'existe pas de séances type ou d'exercices spécialisés sur le terrain.

Il est recommandé de pratiquer 3 à 5 fois par semaine des activités physiques à raison de 30 à 45 minutes par séance (Bougault et coll., 2004). Bien sûr ces recommandations peuvent être dépassées. Ce qui pose problème chez les enfants asthmatiques est la combinaison de l'intensité (plus exactement de la ventilation) et de la durée de l'exercice. Ainsi l'exercice de 6 à 10 minutes, à intensité maximale ou sous-maximale (80% de FC max ou plus), réalisé dans des conditions d'air froid et sec est très asthmogène (Karila, 2002). C'est d'ailleurs l'un des exercices utilisé pour diagnostiquer un BIE chez les enfants. Tout comme pour l'échauffement, il faut privilégier les exercices par intervalles (jusqu'à 4 minutes, par exemple) avec une récupération suffisante lorsque l'on travaille les hautes intensités. Il n'y a pas d'étude qui montre la durée de récupération minimale permettant de récupérer des effets de la ventilation sur les bronches. Nous ne pouvons donc pas préciser la durée de récupération optimale et il faut encore une fois expérimenter différentes durées. Il faut se rappeler que plus l'intensité est importante, plus le BIE risque d'être sévère (Carlsen et coll., 2000). Ainsi chez un même enfant, un exercice de 4 minutes en continu réalisé à 85% de FC max sera moins asthmogène qu'un exercice réalisé à 95% de FC max (Carlsen et coll., 2000).

Pour optimiser les effets de l'activité physique chez l'enfant asthmatique, l'intensité doit tout de même être suffisante mais il faut pour cela que l'enfant puisse maintenir l'effort suffisamment longtemps sans BIE. L'intensité correspondant au seuil d'adaptation ventilatoire (SV_1) répond en général à ces critères et est également préconisé par un certain nombre d'équipes pour le réentraînement individualisé de patients atteints de pathologies respiratoires (Karila et coll., 2005, Varray et coll., 1995). Au-delà de ce seuil, la voie anaérobie prend une part croissante dans la fourniture d'énergie ; il en résulte une augmentation de la

production de CO₂ et de la ventilation. Chez le sujet asthmatique, ce seuil est attribué au seuil d'hyperventilation et de déclenchement du BIE. Il a été montré que les entraînements par intervalles alternant sur une période de 30 à 45 minutes des périodes au SV₁ et des pics de haute intensité (90 à 100 % de la charge mesurée à VO₂max (puissance ou vitesse maximale aérobie) étaient bien supportés par les sujets asthmatiques (Bougault et coll., 2004, Counil et coll., 2003).

Pour le travail d'endurance, principalement les exercices de course à pied, l'idéal est de se munir d'un moyen de mesurer l'intensité (cardiofréquencemètre) et la durée d'effort (montre chronomètre). Lorsque les intensités dépassent le SV₁ (quantifiable en pourcentage de FC max ou correspondant au seuil de dyspnée des enfants), il est préférable que l'exercice ne dépasse pas 6 minutes de travail continu. En revanche, lorsque l'exercice est réalisé sous forme d'intervalles entrecoupés de récupérations, il peut être maintenu plus longtemps.

Lorsque l'environnement est défavorable, ou que l'enfant asthmatique est dans une période post-exacerbation, il est nécessaire de réduire les intensités et par exemple de remplacer la course par de la marche plus ou moins rapide.

L'idéal pour l'enfant asthmatique serait de disposer d'un **débitmètre de pointe**, et de l'utiliser en début de séance, après l'échauffement et en fin de séance pour quantifier son BIE (donc le pourcentage de chute du débit expiratoire maximal). L'infirmière scolaire ou toute autre personne formée, pourrait intervenir auprès des enfants concernés afin qu'ils apprennent à effectuer correctement la manœuvre et à interpréter les résultats. L'enfant devrait expérimenter par lui-même, aidé par son professeur d'EPS ou entraîneur avisé, quelles intensités, et quels exercices lui provoquent des symptômes et un BIE (chute du débit expiratoire de pointe (DEP), témoin de la sévérité du BIE, de 15% ou plus par rapport aux valeurs de repos normales chez l'enfant) (Karila, 2002).

2.2.3. Récupération et activités de relaxation

La récupération doit être progressive et les séances ne doivent pas s'arrêter immédiatement après un effort intense. Cet arrêt brutal peut causer l'apparition d'un BIE. Si l'effort est intense, de préférence diminuer progressivement l'intensité.

De nombreuses activités sont à privilégier soit lors de séances entières soit régulièrement après chaque séance de sport. Les méthodes de relaxation comme le yoga ou le Tai-Chi apportent de bons résultats sur la diminution de la prise médicamenteuse et du stress chez les personnes asthmatiques (Chang et coll., 2008, Vempati et coll., 2009). Ils permettent en sus de travailler une respiration plus abdominale que thoracique, et qui insiste sur la vidange des poumons, ce qui chez les enfants asthmatiques est primordial (Karila et coll., 2005).

2.2.4. Précautions à prendre et conseils généraux

Les principales précautions à prendre sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Précautions à prendre avant la séance de sport

| | Précautions à prendre |
|---|--|
| Bronchodilatateur de courte durée d'action : la médication de secours (prise en prévention ou en cas de BIE) | - Toujours avoir un bronchodilatateur de secours dans le sac de sport de l'enfant. Ne pas attendre pour l'utiliser en cas de gêne respiratoire. |
| | - Vérifier que l'enfant a bien pris son traitement pour l'asthme (s'il en a besoin). En général, pour les asthmatiques ayant une fonction pulmonaire |

| | |
|-------------------------------|--|
| | <p>normale sans traitement, la prise d'un bronchodilatateur de courte durée d'action (comme le salbutamol) 15 minutes avant l'effort devrait prévenir de l'apparition d'un BIE.</p> |
| Conditions climatiques | <ul style="list-style-type: none"> - En cas de conditions climatiques défavorables (air froid et sec), l'usage d'un foulard ou d'un masque sur le visage est conseillé (Nisar et coll., 1992). Pratiquer des exercices demandant une ventilation importante dans ces conditions est à éviter. |
| Pollution | <ul style="list-style-type: none"> - En cas de pollution, utiliser un masque filtrant ou éviter de pratiquer un sport en ville. Par exemple, éviter de courir derrière un bus ou près d'une route très fréquentée. |
| Mesure du souffle | <ul style="list-style-type: none"> - Mesurer son souffle avant et après l'effort (Débimètre de pointe). En cas de chute de 15% ou plus du débit de pointe après l'effort, prendre sa médication, diminuer l'intensité de l'effort, ou arrêter l'exercice. |
| Période pollinique | <p>La présence d'allergies saisonnières non traitées peut être responsable du développement d'un BIE. Eviter les sports extérieurs en présence de pollens pour les enfants asthmatiques allergiques.</p> |

Il est à noter que si un bon échauffement permet de diminuer la sévérité du BIE, il n'en empêche pas systématiquement l'apparition surtout chez les enfants ayant un BIE sévère. En général la combinaison d'un échauffement par intervalles avec la prise d'un bronchodilatateur en prévention (10 à 15 minutes avant l'effort) apporte les meilleurs résultats sur le BIE et permet dans un grand nombre de cas d'éviter l'apparition d'un BIE (Mickleborough et coll., 1999). Tout asthmatique devrait disposer dans son sac de sport et à proximité du lieu d'effort d'un bronchodilatateur courte durée d'action en cas de besoin (Cardona et coll., 2004). **Il faut faire attention toutefois à ne pas trop abuser des bronchodilatateurs beta2 mimétiques (court et longue durée d'action) au risque de voir leur efficacité diminuer (Anderson et coll., 2006, Kersten et coll., 2012).** Une utilisation fréquente de beta2mimétiques indique qu'un traitement de fond de l'asthme est sans doute nécessaire et que l'enfant doit consulter un pneumologue. De plus, si la réalisation d'un échauffement adapté permet d'éviter la prise d'un bronchodilatateur, cela favorise l'autonomie de l'enfant.

Le nez est pourvu de mécanismes d'humidification et de réchauffement de l'air contrairement aux bronches et il est souvent conseillé aux asthmatiques **d'inspirer par le nez**. En cas d'intensité très faible ce conseil peut être prodigué mais dans le cas d'efforts légèrement modérés à intenses, le nez devient rapidement insuffisant pour assurer les échanges gazeux nécessaires.

Un rééquilibrage alimentaire avec l'aide d'un nutritionniste ou d'un diététicien, et notamment du rapport Oméga 3/Oméga 6, et de l'apport en vitamines (notamment C, D et E) peut également être envisagé, afin de réduire le risque de BIE (Chinellato et coll., 2011, Mickleborough et coll., 1999, Stickford et coll., 2011).

Notons qu'en 2013, les bronchodilatateurs et corticostéroïdes inhalés qui sont les principales classes médicamenteuses utilisées pour traiter un asthme ne figurent pas sur

la liste des interdictions de l'agence mondiale anti-dopage (AMA, 2013). L'enfant asthmatique engagé en compétition peut donc les utiliser pour se traiter, selon les recommandations de son pneumologue. Pour les plus âgés, en cas de contrôle anti-dopage, il faut déclarer le traitement utilisé et il pourra être demandé de justifier par des tests d'exploration fonctionnelle respiratoire l'existence d'un BIE.

2.3. Que faire en cas de crise d'asthme déclenchée par l'effort

Dans le cadre scolaire il existe un projet d'accueil individualisé (PAI) qui définit notamment la médication et le protocole d'urgence (MENE, 2003). Quarante trois pourcents des PAI sont rédigés pour de l'asthme. De nombreux enfants non diagnostiqués ou avec un asthme léger à l'effort n'ont pas de PAI mais viennent avec leur bronchodilatateur dans le sac à leur séance de sport.

En cas de BIE l'enfant doit arrêter l'effort et s'asseoir (ne pas allonger l'enfant ni le faire respirer dans un sac plastique). Il faut veiller à ce qu'il n'attrape pas froid et lui demander de mettre un vêtement chaud si nécessaire. L'enseignant ou l'entraîneur doit rester calme, rassurer l'enfant et le faire se concentrer sur son expiration. Il faut insister auprès de lui sur la vidange complète des poumons en respirant éventuellement lentement avec lui. Si l'enfant a un bronchodilatateur de courte durée d'action dans son sac, un camarade peut aller le lui chercher. En général les bronchodilatateurs de courte durée d'action agissent rapidement en quelques minutes et leur durée d'action est de 4 à 6h. En cas d'oubli de son bronchodilatateur, le BIE est souvent réversible spontanément mais cela peut prendre plusieurs minutes voire une heure pour retrouver les valeurs initiales de débits expiratoires. De toute façon il faut surveiller régulièrement l'enfant. En cas de crise très sévère, et de cyanose (bleuissement des lèvres, par

exemple) avec une faible réversibilité après la prise de bronchodilatateur, faire surveiller l'enfant par un camarade (ne pas le laisser seul), et appeler le SAMU ou le 112 par téléphone.

Conclusion

Les enfants asthmatiques peuvent et doivent faire du sport ou une activité physique, pourvu que leur asthme soit bien équilibré et le patienté éduqué aux conséquences et caractéristiques de sa maladie. Le rôle de l'entourage, des médecins, des entraîneurs et des professeurs est très important et tous ces acteurs ont le devoir de s'informer et se former aux conditions favorables et défavorables d'une pratique physique chez l'enfant asthmatique. Il faut en effet rendre l'enfant progressivement autonome en lui apprenant à gérer son effort et en lui faisant découvrir qu'il peut faire du sport et performer aussi bien que ses camarades. Cette éducation passe par une bonne coordination et entente entre le milieu sportif, le milieu médical, le milieu scolaire et l'enfant. Ceci est d'autant plus vrai que de nombreux enfants présentent maintenant et de plus en plus des pathologies associées, et notamment l'asthme et l'obésité. Céder à la facilité et laisser ces enfants sur un banc ou les dispenser d'activité physique ne fera qu'accentuer leurs pathologies. La santé future de ces enfants est donc en partie entre les mains des professeurs d'EPS, entraîneurs, médecins et parents réunis. De nos jours, l'existence de réseaux d'éducation thérapeutique des asthmatiques dans de nombreux départements facilite grandement l'accès à l'éducation des enfants asthmatiques et à l'information sur cette pathologie. Ceux-ci sont une pierre angulaire de la prise en charge de l'asthme et peuvent prendre une part importante dans la gestion de la pathologie par les enfants concernés.

Glossaire

112 : Numéro d'appel d'urgence

AIE : Asthme induit par l'exercice

BIE : Bronchospasme induit par l'exercice

CO₂ : Dioxyde de carbone

EPS : Education physique et sportive

O₂ : Dioxygène

PAI : Projet d'accueil individualisé

SAMU : Service d'aide médicale urgente (numéro de téléphone : 15)

SV1 : Seuil d'adaptation ventilatoire

VO₂max : Consommation maximale de dioxygène

Références sur la partie mucoviscidose

Babb TG. Mechanical ventilatory constraints in aging, lung disease, and obesity: perspectives and brief review. *Med Sci Sports Exerc* 1999 ; 31(1 Suppl) : S12-22.

Barak A, Wexler ID, Efrati O, Bentur L, Augarten A, Mussaffi H, Avital A, Rivlin J, Aviram M, Yahav Y, Kerem E. Trampoline use as physiotherapy for cystic fibrosis patients. *Pediatr Pulmonol* 2005 ; 39(1) : 70-3.

Bellis G, Cazes M, Lemonnier L, Sponga M. Registre français de la mucoviscidose - Bilan des données 2010. Paris, Vaincre la Mucoviscidose - Ined ; 2012 : 1-44.

Bienvenu T. Cystic fibrosis: relationship between genotype and phenotype. *Arch Pédiatrie : organe officiel de la Société Française de Pédiatrie* 2003 ; 10 Suppl 2 : 318s-324s.

Blau H, Mussaffi-Georgy H, Fink G, Kaye C, Szeinberg A, Spitzer SA, Yahav J. Effects of an intensive 4-week summer camp on cystic fibrosis: pulmonary function, exercise tolerance, and nutrition. *Chest* 2002 ; 121(4) : 1117-22.

Borel B, Leclair E, Thevenet D, Beghin L, Gottrand F, Fabre C. Mechanical ventilatory constraints during incremental exercise in healthy and cystic fibrosis children. *Pediatr Pulmonol* ; In press:

Boucher RC. Regulation of airway surface liquid volume by human airway epithelia. *Pflugers Archiv : European Journal Physiology* 2003 ; 445(4) : 495-8.

Brown RK, Wyatt H, Price JF, Kelly FJ. Pulmonary dysfunction in cystic fibrosis is associated with oxidative stress. *Eur Respir J* 1996 ; 9(2) : 334-9.

Cerny FJ, Pullano TP, Cropp GJ. Cardiorespiratory adaptations to exercise in cystic fibrosis. *Am Rev Respir Dis* 1982 ; 126(2) : 217-20.

Coates AL, Boyce P, Muller D, Mearns M, Godfrey S. The role of nutritional status, airway obstruction, hypoxia, and abnormalities in serum lipid composition in limiting exercise tolerance in children with cystic fibrosis. *Acta Paediatr Scand* 1980 ; 69(3) : 353-8.

Coates AL, Canny G, Zinman R, Grisdale R, Desmond K, Roumeliotis D, Levison H. The effects of chronic airflow limitation, increased dead space, and the pattern of ventilation on gas exchange during maximal exercise in advanced cystic fibrosis. *Am Rev Respir Dis* 1988 ; 138(6) : 1524-31.

Cystic Fibrosis Mutation Database. (2012). "Cystic Fibrosis Mutation Database Statistics.", from <http://www.genet.sickkids.on.ca/StatisticsPage.html>.

Davies JC, Alton EW, Bush A. Cystic Fibrosis. *BMJ* 2007 ; 335 (7632) : 1255-9.

de Meer K, Jeneson JA, Gulmans VA, van der Laag J, Berger R. Efficiency of oxidative work performance of skeletal muscle in patients with cystic fibrosis. *Thorax* 1995 ; 50(9) : 980-3.

Dommergues M, Ayme S, Janiaud P, Seror V. Diagnostic prénatal: Pratiques et enjeux. *Inserm* ; 2003.

Elkin SL, Williams L, Moore M, Hodson ME, Rutherford OM. Relationship of skeletal muscle mass, muscle strength and bone mineral density in adults with cystic fibrosis. *Clinical Science* 2000 ; 99(4) : 309-14.

Gibson RL, Burns JL, Ramsey BW. Pathophysiology and management of pulmonary infections in cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 2003 ; 168(8) : 918-51.

Girodon-Boulandet E, Costa C. Génétique de la mucoviscidose. *Médecine thérapeutique/Pédiatrie* 2005 ; 8(3) : 126-34.

Godfrey S, Mearns M. Pulmonary function and response to exercise in cystic fibrosis. *Arch Dis Child* 1971 ; 46(246) : 144-51.

Goetghebeur D, Sarni D, Grossi Y, Leroyer C, Ghezzi H, Milic-Emiri J, Bellet M. Tidal expiratory flow limitation and chronic dyspnoea in patients with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 2002 ; 19(3) : 492-8.

Gruber W, Orenstein DM, Braumann KM, Huls G. Health-related fitness and trainability in children with cystic fibrosis. *Pediatric Pulmonol* 2008 ; 43(10) : 953-64.

Gulmans VA, de Meer K, Brackel HJ, Faber JA, Berger R, Helders PJ. Outpatient exercise training in children with cystic fibrosis: physiological effects, perceived competence, and acceptability. *Pediatr Pulmonol* 1999 ; 28(1) : 39-46.

Gulmans VA, de Meer K, Brackel HJ, Helders PJ. Maximal work capacity in relation to nutritional status in children with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 1997 ; 10(9) : 2014-7.

Gruber W, Orenstein DM, Braumann KM, Hu G. Health-Related fitness and trainability in children with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 2008 ; 43 : 953-964.

Hind K, Truscott JG, Conway SP. Exercise during childhood and adolescence: A prophylaxis against cystic fibrosis-related low bone mineral density? Exercise for bone health in children with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros* 2008 ; 7(4) : 270-6.

Holsclaw DS. Cystic fibrosis and pulmonary involvement from multiple perspectives. *Semin Respir Infect* 1992 ; 7(3) : 141-9.

Hulzebos HJ, Snieder H, van der Et J, Helders PJ, Takken T. High-intensity interval training in an adolescent with cystic fibrosis: a physiological perspective. *Physiotherapy Theory and Practice* 2010 ; 27(3) : 231-7.

Kerem B, Rommens JM, Buchanan JA, Markiewicz D, Cox TK, Chakravarti A, Buchwald M, Tsui LC. Identification of the cystic fibrosis gene: genetic analysis. *Science* 1989 ; 245(4922) : 1073-80.

Klijn PH, Oudshoorn A, van der Ent CK, van der Net J, Kimpen JL, Helders PJ. Effects of anaerobic training in children with cystic fibrosis: a randomized controlled study. *Chest* 2004 ; 125(4) : 1299-305.

Klijn PH, van der Net J, Kimpen JL, Helders PJ, van der Ent CK. Longitudinal determinants of peak aerobic performance in children with cystic fibrosis. *Chest* 2003 ; 124(6) : 2215-9.

Lands LC, Heigenhauser GJ, Jones NL. Analysis of factors limiting maximal exercise performance in cystic fibrosis. *Clin Sci (Lond)* 1992 ; 83(4) : 391-7.

Nixon PA. Role of exercise in the evaluation and management of pulmonary disease in children and youth. *Med Sci Sports Exerc* 1996 ; 28(4) : 414-20.

Nixon PA. Cystic fibrosis. In *ACSM's exercise management for persons with chronic diseases and disabilities*, 2nd edition. H. Kinetics. Champaign, IL, Human Kinetics ; 2003.

Orenstein DM, Winnie GB, Altman H. Cystic Fibrosis : A 2002 update. *J Pediatr* 2002 ; 140 (2) : 156 - 164.

Orenstein DM, Hovell MF, Mulvihill M, Keating KK, Hofstetter CR, Kelsey S, Morris K, Nixon PA. Strength vs aerobic training in children with cystic fibrosis: a randomized controlled trial. *Chest* 2004 ; 126(4) : 1204-14.

Paranjape SM, Barnes LA, Carson KA, von Berg K, Loosen H, Mogayzel PJ, Jr. Exercise improves lung function and habitual activity in children with cystic fibrosis. *Journal of Cystic Fibrosis* 2012 ; 11(1) : 18-23.

Pilewski JM, Frizzell RA. Role of CFTR in airway disease. *Physiol Rev* 1999 ; 79 (1 suppl) : S215-55.

Prasad SA, Cerny FJ. Factors that influence adherence to exercise and their effectiveness: Application to cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* ; 2002 ; 34 : 66-72.

Rand S, Prasad SA. Exercise as part of a cystic fibrosis therapeutic routine. *Expert Review of Respiratory Medicine* 2012 ; 6(3) : 341-51; quiz 352.

Regnis JA, Alison JA, Henke KG, Donnelly PM, Bye PT. Changes in end-expiratory lung volume during exercise in cystic fibrosis relate to severity of lung disease. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 144 : 507-12.

Regnis JA, Donnelly PM, Robinson M, Alison JA, Bye PT. Ventilatory mechanics at rest and during exercise in patients with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 1996 ; 154 : 1418-25.

Riordan JR, Rommens JM, Kerem B, Alon N, Rozmahel R, Grzelczak Z, Zielenski J, Lok S, Plavsic N, Chou JL. Identification of the cystic fibrosis gene: cloning and characterization of complementary DNA. *Science* 1989 ; 245(4922) : 1066-73.

Rommens JM, Iannuzzi MC, Kerem B, Drumm ML, Melmer G, Dean M, Rozmahel R, Cole JL, Kennedy D, Hidaka N. Identification of the cystic fibrosis gene: chromosome walking and jumping. *Science* 1989 ; 245(4922) : 1059-65.

Schneiderman-Walker J, Pollock SL, Corey M, Wilkes DD, Canny GJ, Pedder L, Reisman JJ. A randomized controlled trial of a 3-year home exercise program in cystic fibrosis. *J Pediatr* 2000 ; 136(3) : 304-10.

Selvadurai HC, Blimkie CJ, Meyers N, Mellis CM, Cooper PJ, Van Asperen PP. Randomized controlled study of in-hospital exercise training programs in children with cystic fibrosis. *Pediatric Pulmonol* 2002 ; 33(3) : 194-200.

Sosa ES, Groeneveld IF, Gonzalez-Saiz L et al. Intrahospital weight and aerobic training in children with cystic fibrosis: a randomized controlled trial. *Med Sci Sports Exerc* 2012 ; 44 : 2-11.

Staab D. Cystic Fibrosis - Therapeutic challenge in cystic fibrosis children. *Eur J Endocrinol* 2004 ; 151 : S77 - S80.

Thin AG, Dodd JD, Gallagher CG, Fitzgerald MX, McLoughlin P. Effect of respiratory rate on airway deadspace ventilation during exercise in cystic fibrosis. *Respir Med* 2004 ; 98(11) : 1063-70.

Turchetta A, Salerno T, Lucidi V, Libera F, Cutrera R, Bush A. Usefulness of a program of hospital-supervised physical training in patients with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 2004 ; 38(2) : 115-8.

Urquhart D, Sell Z, Dhouieb E, Bell G, Oliver S, Black R, Tallis M. Effects of a supervised, outpatient exercise and physiotherapy programme in children with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 2012 ; 47(12) : 1235-41.

Webb AK, Dodd ME, Moorcroft J. Exercise and cystic fibrosis. *J R Soc Med* 1995 ; 88 Suppl 25 : 30-6.

Wilkes DL, Schneiderman JE, Nguyen T, Heale L, Moola F, Ratjen F, Coates AL, Wells GD. Exercise and physical activity in children with cystic fibrosis. *Paediatr Respir Rev* 2009 ; 10(3) : 105-9.

Williams CA, Benden C, Stevens D, Radtke T. Exercise training in children and adolescents with cystic fibrosis: theory into practice. *International Journal of Pediatrics* 2010 ; 7 pages.

Williams CA, Stevens D. Physical activity and exercise training in young people with cystic fibrosis : current recommendations and evidence. *Journal of Sport and Health Science* 2013 ; 2 : 39-46.

Références sur la partie asthme

Agence mondiale antidopage. Liste des interdictions 2013. <http://www.wada-ama.org/>. Consulté le 28 mars 2013

Anderson SD. The prevention of exercise-induced bronchoconstriction: what are the options? *Expert Rev Respir Med* 2012 ; 6(4) : 355-7.

Anderson SD, Daviskas E. The mechanism of exercise - induced asthma is... *J Allergy Clin Immunol* 2000 ; 106 : 453-9.

Anderson SD, Caillaud C, Brannan JD. β 2-agonists and exercise-induced asthma. *Clin Rev Allergy Immunol* 2006 ; 31(2-3) : 163-180.

Bernard A, Carbonnelle S, D, Michel O, Nickmilder M. Chlorinated pool attendance, atopy, and the risk of asthma during childhood. *Environ Health Perspect* 2006 ; 114(10) : 1567-73.

Blanc FX, Postel-Vinay N, Boucot I, De Blic J, Scheinmann P. Etude AIRE : analyse des données recueillies chez 753 enfants asthmatiques en Europe. *Rev Mal Respir* 2002 ; 19 : 585-92.

Bougault V, Rasseneur L, Doutreleau S, Oswald-Mammosser M. Intérêts d'une activité physique en piscine chez l'asthmatique. *Sci Sports* 2004 ; 20(1) : 1-11.

Bousquet J, Jeffery PK, Busse WW, Johnson M, Vignola AM. Asthma from bronchoconstriction to airways inflammation and remodeling. *Am J Respir Crit Care Med* 2000 ; 161(5) : 1720-45.

Cardona I, D'Alonzo GE, Becker J. A pilot survey of beta2-agonist inhaler availability for children with asthma during organized sporting events. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2004 ; 92(3) : 340-3

Chandratilleke MG, Carson KV, Picot J, Brinn MP, Esterman AJ, Smith BJ. Physical training for asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012 ; 5 : CD001116

Chang YF, Yang YH, Chen CC, Chiang BL. Tai Chi Chuan training improves the pulmonary function of asthmatic children. *J Microbiol Immunol Infect* 2008 ; 41(1) : 88-95.

Cheng BL, Huang Y, Shu C, Lou XL, Fu Z, Zhao J. A cross-sectional survey of participation of asthmatic children in physical activity. *World J Pediatr* 2010 ; 6(3) : 238-43.

Chiang LC, Huang JL, Fu LS. Physical activity and physical self-concept: comparison between children with and without asthma. *J Adv Nurs* 2006 ; 54(6) : 653-62.

Conn KM, Hernandez T, Puthoor P, Fagnano M, Halterman JS. Screen time use among urban children with asthma. *Acad Pediatr* 2009 ; 9(1):60-3.

Correira MA, Rizzo JA, Sarinho SW, Cavalcanti Sarinho ES, Medeiros D, Assis F. Effect of exercise-induced bronchospasm and parental beliefs on physical activity of asthmatic adolescents from a tropical region. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2012 ; 108(4) : 249-53.

Counil FP, Karila C, Varray A, Guillaumont S, Voisin M, Préfaut C. Anaerobic fitness in children with asthma: adaptation to maximal intermittent short exercise. *Pediatr Pulmonol* 2011 ; 31(3) : 198-204.

Counil FP, Varray A, Matecki S, Beurey A, Marchal P, Voisin M, Préfaut C. Training of aerobic and anaerobic fitness in children with asthma. *J Pediatr* 2003 ; 142(2) : 179-84.

Counil FP, Varray A, Karila C, Hayot M, Voisin M, Préfaut C. Wingate test performance in children with asthma: aerobic or anaerobic limitation? *Med Sci Sports Exerc* 1997 ; 29(4) : 430-5.

Crosbie A. The effect of physical training in children with asthma on pulmonary function, aerobic capacity and health-related quality of life: a systematic review of randomized control trials. *Pediatr Exerc Sci* 2012 ; 24(3) : 472-89.

De Bisschop C, Guenard H, Desnot P, Vergeret J. Reduction of exercise-induced asthma in children by short, repeated warm-ups. *Br J Sports Med* 1999 ; 33(2) : 100-4.

Debrock C, Menetrey C, Bonavent M, Antonini MT, Preux PM, Bonnaud F, Vergnenegre A. Prévalence de l'asthme d'effort en milieu scolaire. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2002 ; 50 : 519-29.

Delmas MC, Guignon N, Leynaert B, Annesi-Maesano I, Com-Ruelle L, Gonzalez L, Fuhrman C. Prevalence and control of asthma in young children in France. *Rev Mal Respir* 2012 ; 29(5) : 688-96.

Dimitrakaki V, Porpodis K, Bebetos E, Zarogouliddis P, Papaiwannou A, Tsiouda T, Tsioulis H, Zarogoulidis K. Attitudes of asthmatic and nonasthmatic children to physical exercise. *Patient Prefer Adherence* 2013 ; 7 : 81-8.

Eijkemans M, Mommers M, De Vries SI, Van Buuren S, Stafleu A, Bakker I, Thijs C. Asthmatic symptoms physical activity, and overweight in young children: a cohort study. *Pediatrics* 2008 ; 121(3) : e666-72.

Eijkemans M, Mommers M, Draaisma JMT, Thijs C, Prins MH. Physical activity and asthma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 2012 ; 7(12) : e50775.

Feuillet-Dassonval C, Gagnayre R, Rossignol B, Bidat E, Stheneur C. Written asthma action plans: a useful tool for self-management. *Arch Pediatr* 2005 ; 12(12) : 1788-96.

Firrincieli V, Keller A, Ehrensberger R, Platts-Mills J, Shufflebarger C, Geldmaker B, Platts-Mills T. Decreased physical activity among Head Start children with a history of wheezing: use of an accelerometer to measure activity. *Pediatr Pulmonol* 2005 ; 40(1):57-63.

Fitch K. An overview of asthma and airway hyper-responsiveness in olympic athletes. *Br J Sports Med* 2012 ; 46(6) : 413-6.

Glazebrook C, McPherson AC, Macdonald IA, Swift JA, Ramsay C, Newbould R, Smyth A. Asthma as a barrier to children's physical activity: implications for body mass index and mental health. *Paediatrics* 2006 ; 118(6) : 2443-9.

Hallstrand TS, Bates PW, Schoene RB. Aerobic conditioning in mild asthma decreases the hyperpnea of exercise and improves exercise and ventilatory capacity. *Chest* 2000 ; 118(5) : 1460-9.

Karila C, Fuchs-Climent D, Clairicia M, Leborgne P, Salort M, De Blic J, Scheinmann P. Conseils pratiques pour l'asthme de l'enfant déclenché par l'exercice physique : expérience du centre de réentraînement à l'effort de l'hôpital Necker-Enfants malades. *Arch Pédiatrie* 2005 ; 12 : 105-9.

Karila C. Asthme induit par l'exercice. Dans Dutau G. *Actualités en pneumologie et en allergologie*. Paris : Elsevier éditions ; 2002 .p38-43.

Kersten ET, Van Leeuwen JC, Brand PL, Duiverman EJ, De Jongh FH, Thio BJ, Driessen JM. Effect of an intranasal corticosteroid on exercise induced bronchoconstriction in asthmatic children. *Pediatr Pulmonol* 2012 ; 47(1) : 27-35.

Kim JW, So WY, Kim YS. Association between asthma and physical activity in Korean adolescents: the 3rd Korea Youth Risk Behavior Web-based Survey (KYRBWS-III). *Eur J Public Health* 2012 ; 22(6) : 864-8.

Kosti RI, Priftis KN, Anthracopoulos MB, Papadimitrou A, Grigoropoulo D, Lentzas Y, Yfanti K, Panagiotakos DB. The association between leisure-time physical activities and asthma symptoms among 10- to 12-year-old children: the effect of living environment in the PANACEA study. *J Asthma* 2012 ; 49(4) : 342-8.

McKenzie DC, McLuckie SL, Stirling DR. The protective effects of continuous and interval exercise in athletes with exercise-induced asthma. *Med Sci Sports Exerc* 1994 ; 26 : 951-6.

Mickleborough TD, Lindley M, Turner LA. Comparative effects of a high-intensity interval warm-up and salbutamol on the bronchoconstrictor response to exercise in asthmatic athletes. *Int J Sports Med* 2007 ; 28(6) : 456-62.

MENE. Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Accueil en collectivité des enfants et des adolescents atteints de troubles de la santé évoluant sur une longue période. Bulletin officiel n°2003-135 du 8-9-2003.

Morton AR, Fitch KD, Davis T. The effect of warm-up on exercise-induced asthma. *Ann Allergy* 1979 ; 42 : 257-60.

Nisar M, Spence DPS, West D, Haycock J, Jones Y, Walshaw MJ, Earis JE, Calverley PMA, Pearson MG. A mask to modify inspired air temperature and humidity and its effect on exercise induced asthma. *Thorax* 1992 ; 47 : 446-50.

Pianos PT, Davis HS. Determinants of physical fitness in children with asthma. *Pediatrics* 2004 ; 113(3) : e225-9.

Rundell KW. Effect of air pollution on athlete health and performance. *Br J Sports Med* 2012 ; 46(6) : 407-12.

Sandsund M, Thomassen M, Reinertsen RE, Steinshamn S. Exercise-induced asthma in adolescents: challenges for physical education teachers. *Chron Respir Dis* 2011 ; 8(3) : 171-9.

Schnall RP, Landau LI. Protective effect of repeated short sprints in exercise-induced asthma. *Thorax* 1980 ; 35 : 828-32.

Stickford JL, Mickleborough TD, Fly AD, Stager JM. Conjugated linoleic acid's lack of attenuation of hyperpnea-induced bronchoconstriction in asthmatic individuals in the short term. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011 ; 21(1) : 40-7.

Stickland MK, Rowe BH, Spooner CH, Vandermeer B, Dryden DM. Effect of warm-up exercise on exercise-induced bronchoconstriction. *Med Sci Sports Exerc* 2012 ; 44(3) : 383-91.

Tsai SY, Ward T, Lentz MJ, Kieckhefer GM. Daytime physical activity levels in school-age children with and without asthma. *Nurs Res* 2012 ; 61(4) : 252-9.

Utell MJ, Looney RJ. Environmentally induced asthma. *Toxicol Lett* 1995 ; 82-83 : 47-53.

Vahlkvist S, Inman MD, Pedersen S. Effect of asthma treatment on fitness, daily activity and body composition in children with asthma. *Allergy* 2010 ; 65(11) : 1464-71.

Vahlkvist S, Pedersen S. Fitness, daily activity and body composition in children with newly diagnosed, untreated asthma. *Allergy* 2009 ; 64(11) : 1649-55.

Van Leeuwen JC, Driessen JM, de Jongh FH, van Aalderen WM, Thio BJ. Monitoring pulmonary function during exercise in children with asthma. *Arch Dis Child* 2011 ; 96 : 664-8.

Van Veldhoven NH, Vermeer A, Bogaard JM, Hessels MG, Wijnroks L, Colland VT, Van Essen-Zandvliet EE. Children with asthma and physical exercise: effects of an exercise programme. *Clin Rehabil* 2001 ; 15 (4) : 360-70.

Varray AL, Mercier JG, Prefaut CG. Individualized training reduces excessive exercise hyperventilation in asthmatics. *Int J Rehabil Res* 1995 ; 18(4) : 297-312.

Varray A, Mercier J, Savy Pacaux AM, Préfaut C. Cardiac role in exercise limitation in asthmatic subjects with special reference to disease severity. *Eur Resp J* 1993 ; 6 : 1011-7.

Varray A, Préfaut C. Les bases physiopathologiques du ré-entraînement à l'effort des asthmatiques. *Rev Mal Resp* 1992 ; 9 : 355-66.

Varray A, Mercier J, Ramonatxo M, Préfaut C. L'exercice physique maximal chez l'enfant asthmatique : limitation aérobie et compensation anaérobie? *Sci Sports* 1989 ; 4 : 199-207.

Vempati R, Bijlani RL, Deepak KK. The efficacy of a comprehensive lifestyle modification programme based on yoga in the management of bronchial asthma: a randomized controlled trial. *BMC Pulm Med* 2009 ; 30 : 9-37.

Villa F, Castro AP, Pastorino AC, Santarem JM, Martins MA, Jacob CM, Carvalho CR. Aerobic capacity and skeletal muscle function in children with asthma. *Arch Dis Child* 2011 ; 96 : 554-9.

Wanrooij VHM, Willeboordse M, Dompeling E, Van de Kant KDG. Exercise training in children with asthma: a systematic review. *Br J Sports Med* 2013 ; doi : 10.1136/bjsports-2012-091347.

Welsh L, Kemp JG, Roberts RG. Effects of physical conditioning on children and adolescents with asthma. *Sports Med* 2005 ; 35 : 127-41.

Williams B, Powell A, Hoskins G, Neville R. Exploring and explaining low participation in physical activity among children and young people with asthma: a review. *BMC Family Practice* 2008 ; 9 : 1-11.

Williams B, Hoskins G, Pow J, Neville R, Mukhopadhyay S, Coyle J. Low exercise among children with asthma: a culture of over protection? *Br J Genl Pract* 2010 ; e319-26.