

Evaluation de la capacité fonctionnelle cardiorespiratoire chez l'enfant : tests de marche et tests de course

Assessment of the cardiorespiratory fitness in children : walking tests and running tests

J. Vanhelst^{1,2} et L. Béghin^{1,2}

¹CIC-PT-9301, Inserm, C.H.R.U., Hôpital Universitaire de Lille, ²Inserm U995, IFR114, Faculté de Médecine, Université de Lille 2, Lille, France

RESUME

L'évaluation de la capacité fonctionnelle cardiorespiratoire est très utile dans de nombreuses pathologies pédiatriques et en recherche clinique. Celle-ci s'intègre dans le concept plus large de la qualité de vie qui est devenu une préoccupation importante dans les affections chroniques de l'enfant. Plusieurs méthodes, directe ou indirectes, ont été mises au point pour l'évaluer. Le but de cette mise au point est de décrire les différents tests possibles. La mesure directe en laboratoire a pour avantage sa précision dans l'évaluation. Cependant, elle demande un personnel qualifié, plus de temps et du matériel sophistiqué. A l'inverse, les tests de terrain sont plus accessibles et permettent un gain de temps, non négligeable en recherche. Le choix du test utilisé doit prendre en compte l'âge du sujet, et surtout son état de santé. Ainsi, les nombreux tests d'effort développés permettent au clinicien/chercheur de choisir et d'utiliser le test approprié au sujet étudié, à la méthodologie de l'étude.

Rev Med Brux 2013 ; 34 : 170-8

ABSTRACT

Cardiorespiratory fitness (CF) is an important factor in treating various paediatric pathologies. As a consequence, assessing CF has widespread clinical application as part of paediatric intervention programs. Several methods have been developed for the purpose of measuring CF. The aim of this review is to describe and evaluate test procedures that are currently in use. Direct measurement in a laboratory setting has the advantage of high validity and reliability. The disadvantage, however, is that laboratory assessment of CF requires trained personnel, takes more time than field tests, and necessitates costly equipment. Conversely, field tests are easier to administer, require less time and utilise less expensive equipment. The choice of the test mode must take into account the age and health of the subject. The availability of a variety of tests makes it possible for the clinician/researcher to choose the most assessment that is most appropriate for the target population, study objectives, and available resources according to the research methods of the study.

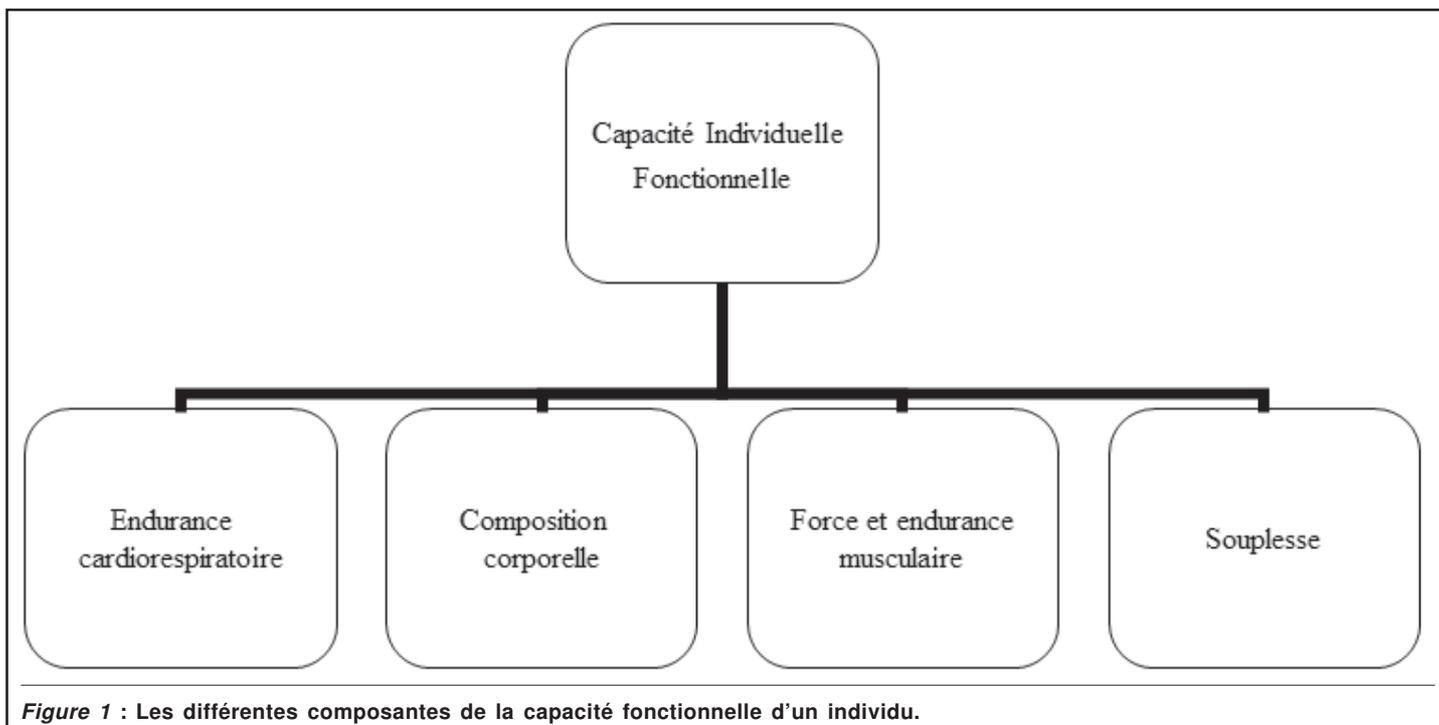
Rev Med Brux 2013 ; 34 : 170-8

Key words : cardiorespiratory fitness, laboratory tests, field tests, clinical research

INTRODUCTION

La capacité fonctionnelle d'un individu regroupe plusieurs composantes aussi importantes les unes que les autres : l'endurance cardiorespiratoire, la composition corporelle, la souplesse, la force et

l'endurance musculaire (figure 1)¹. L'évaluation de cette capacité fonctionnelle est très utile dans de nombreuses pathologies pédiatriques et en recherche clinique, et épidémiologique, mais aussi dans des pathologies touchant les adultes²⁻⁷. En effet, celle-ci s'intègre dans le concept plus large de la qualité de vie



qui est devenu une préoccupation importante dans les affections chroniques de l'enfant, et est un des moyens permettant d'en évaluer l'évolution. L'endurance cardiorespiratoire se veut être le facteur le plus important de la capacité fonctionnelle. Elle est définie par le pouvoir de l'organisme à utiliser et transporter de l'oxygène aux différents muscles et organes vitaux lors des phases de sédentarité ou lors d'un exercice faible, modéré ou intense. Afin d'évaluer cette endurance cardiorespiratoire, le critère d'évaluation le plus utilisé est la consommation maximale d'oxygène (VO_2 max). On définit la VO_2 max comme la quantité maximale de consommation d'oxygène consommée lors d'un exercice très intense pour un individu donné. Elle est exprimée généralement en litres par minute ($l \cdot \text{min}^{-1}$) ou en millilitres par kilogramme de poids corporel par minute ($ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Chez un individu donné, plus la VO_2 max est élevée, meilleure est sa capacité fonctionnelle.

La mesure de la VO_2 max est maintenant largement reconnue comme mesure de référence pour l'évaluation de l'endurance cardiorespiratoire. Plusieurs tests ont été conçus dans le but d'évaluer cette VO_2 max. Le but de cette mise au point est de présenter les principales différences existant entre les différents types de tests, leur intérêt et leurs applications en recherche clinique et épidémiologique chez l'enfant et l'adolescent.

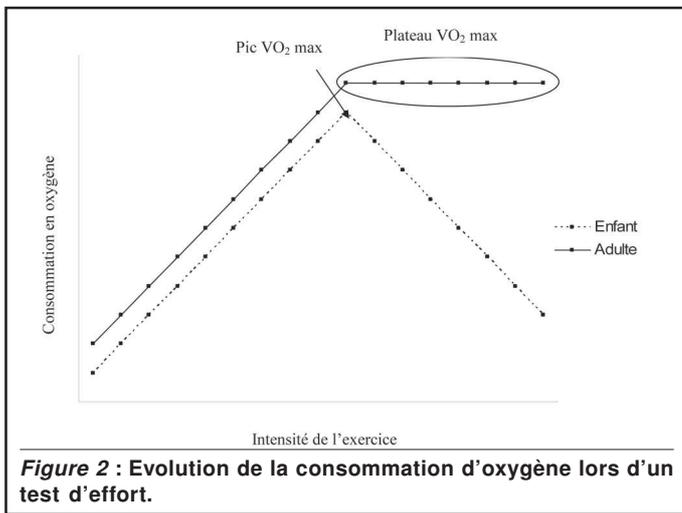
TEST DIRECT ET TEST INDIRECT

La mesure directe de la VO_2 max représente la méthode la plus précise pour évaluer l'endurance cardiorespiratoire. Pour ce faire, l'individu réalise une épreuve d'effort sur un tapis roulant dans un laboratoire, sur une bicyclette ergométrique ou sur le terrain, et porte un masque relié à un analyseur de gaz (O_2 et CO_2). Cette technique est certes la méthode de

référence, mais elle est cependant consommatrice de temps, coûteuse et demande du matériel sophistiqué ainsi que du personnel qualifié. De plus, elle peut être difficile à réaliser chez l'enfant jeune. Par conséquent, plusieurs méthodes indirectes ont été mises au point permettant d'estimer la VO_2 max. Ces techniques peuvent se pratiquer aussi bien en laboratoire qu'en plein air (terrain). Ces tests indirects permettent d'étudier plusieurs sujets à la fois avec un coût réduit (peu de matériel sophistiqué), et moins contraignant pour l'individu (masque, tapis roulant, etc.), et donc plus facilement acceptés par un enfant.

TESTS MAXIMAUX ET TESTS SOUS-MAXIMAUX

Après les tests de mesure directe, le test maximal est le deuxième facteur de précision pour évaluer la VO_2 max. Les tests maximaux demandent une participation importante du sujet. Ces protocoles consistent à démarrer un exercice physique à faible intensité pour augmenter progressivement (par palier) la difficulté jusqu'à l'épuisement du sujet. Les tests maximaux peuvent être continus ou discontinus (repos de 5 à 10 à minutes entre les incréments). Les tests discontinus peuvent prendre 5 fois plus de temps par rapport aux tests continus¹. Lors d'un test maximal, la VO_2 max augmente avec l'augmentation du niveau de difficulté jusqu'à ce que le plateau de VO_2 soit atteint. On observe le plateau de VO_2 lorsque l'on augmente la charge de travail et que la courbe de VO_2 n'augmente plus. Ce stade représente alors la VO_2 max (figure 2). *A contrario*, chez l'enfant, on ne parle pas de plateau de VO_2 max, mais plutôt du pic de VO_2 max (ceci correspond au sommet de la courbe de la consommation d'oxygène) (figure 2). D'autres critères doivent être pris en compte pour valider une mesure de VO_2 max. Il faut la présence d'un plateau de VO_2 , d'un quotient respiratoire (rapport VCO_2/VO_2) supérieur ou égal à 1,1, d'une concentration sanguine en lactates



supérieure à 8 mMol.l⁻¹, d'une fréquence cardiaque maximale proche de la fréquence cardiaque maximale théorique (220-âge), et d'un épuisement ressenti et évalué supérieur à 17 selon l'échelle de Borg¹. Ces critères sont relativement exigeants. Il est donc difficile, voire même impossible, d'administrer des tests d'effort maximaux chez l'enfant en particulier porteur d'une maladie chronique.

Pour pallier ce risque accru, des tests sous-maximaux ont été développés pour prédire ou estimer la VO₂ max d'un individu. Ces tests sous-maximaux reposent sur une méthodologie similaire aux tests maximaux, mais ils sont arrêtés avant l'épuisement du sujet. La fin d'un test sous-maximal se calcule à partir de la fréquence cardiaque maximale théorique (220-âge), et correspond en pratique à 70-85 % de la fréquence cardiaque maximale théorique. La VO₂ max est ensuite prédite grâce à la fréquence cardiaque par l'extrapolation de tous les points de la fréquence cardiaque vers la fréquence cardiaque maximale théorique pour ainsi évaluer la capacité aérobie de l'individu testé. Cependant, cette technique ne permet pas d'estimer de façon précise la consommation maximale d'oxygène. Il s'agit donc d'une estimation qui comporte au moins quatre facteurs limitants⁸ :

- la relation entre la fréquence cardiaque, la charge de travail et la consommation maximale d'oxygène n'est pas linéaire, ce qui aboutit à une sous-estimation de la VO₂ max ;
- il existe une variabilité de la fréquence cardiaque maximale (± 10 battements/minute) entre des individus du même âge. Par conséquent, la VO₂ max peut être sous-estimée pour certaines personnes, ou en revanche, surestimée pour d'autres ;
- l'efficacité mécanique peut varier en fonction des individus. Une personne ayant une faible efficacité mécanique, va dépenser plus d'énergie pour un même travail, par rapport à une personne possédant une bonne efficacité mécanique. Ainsi, cette personne consomme plus d'oxygène et voit sa VO₂ max sous-estimée ;
- il existe une variation de la fréquence cardiaque au quotidien (± 5 battements/minute) pour une même intensité. Due à la variabilité de la fréquence cardiaque, l'estimation de la VO₂ max lors d'un test

sous-maximal peut varier entre 10 et 20 % de la valeur réelle⁹.

Le choix entre ces deux types de tests se fait en fonction de plusieurs critères, notamment l'âge, le genre et l'état de santé de l'individu¹. En effet, on privilégiera un test sous-maximal pour un individu présentant une pathologie, puis un test maximal plutôt pour des adolescents ou adultes sains, ou encore des sportifs. Cependant, Heyward souligne que l'objectif du test représente aussi un facteur influençant le choix de la méthode¹. En effet, un test sous-maximal sera moins sensible qu'un test maximal pour diagnostiquer la présence d'une maladie coronarienne¹. A l'inverse, dans le même type de pathologie, s'il s'agit d'évaluer les effets d'un programme de réadaptation à l'effort, il sera plus pratique et sécuritaire de réaliser un tests sous-maximal.

TESTS DE LABORATOIRE ET TESTS DE TERRAIN

Ces différents tests peuvent être réalisés soit en laboratoire (tapis roulant, etc.), soit sur le terrain. Les tests de terrain sont moins coûteux, plus faciles et moins longs à réaliser sur de grandes populations car plusieurs sujets peuvent être évalués en même temps¹. Ils ne nécessitent pas d'appareillage spécifique, ni de personnel qualifié, mais ils sont moins précis que les tests de laboratoires. Les principaux tests utilisés sont rapportés dans les tableaux 1 et 2.

Les tests de laboratoire

Ils consistent à augmenter l'intensité de travail progressivement, par palier en augmentant la vitesse du tapis roulant, la pente du tapis roulant, ou les deux simultanément¹. Les deux protocoles les plus répandus sont les protocoles de Bruce¹⁰ et de Balke¹¹.

Le protocole de Bruce¹⁰

Le protocole de Bruce *et al.* (1973) est un test d'effort par paliers (figure 3). La charge de travail augmente en parallèle avec la vitesse du tapis roulant,

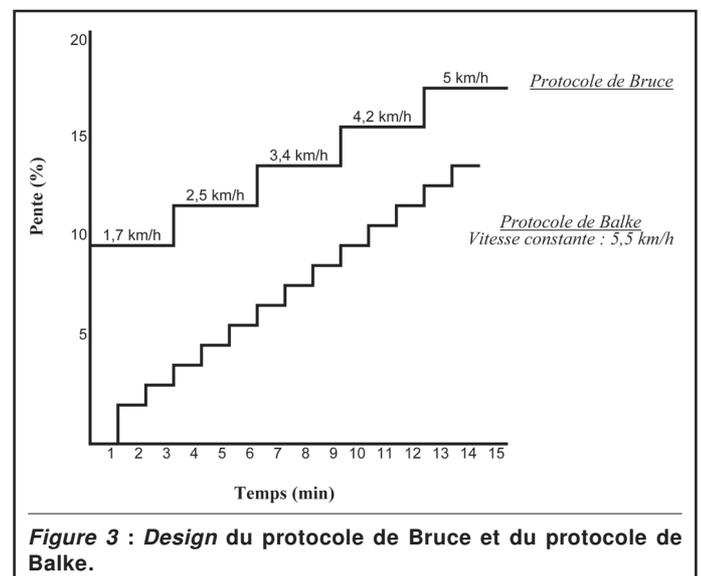


Tableau 1 : Principaux tests de laboratoire pour évaluer l'endurance cardiorespiratoire.

Nom	Année	Critère de relevé	Max/sous-max	Indications
Tests de course				
Astrand modifié ¹	1978	Paliers	Max/sous-max	Sains/Malades
Balke ¹¹	1959	Paliers	Max/sous-max	Sains
Balke modifié ¹	1959	Paliers	Max/sous-max	Malades
Bruce ¹⁰	1973	Paliers	Max/sous-max	Sains/Malades
Bruce modifié ¹²	1976	Paliers	Max/sous-max	Malades
Costill & Fox ³¹	1969	Paliers	Max/sous-max	Sains
Cunningham & Faulkner ³²	1969	Temps	Max/sous-max	Sains
Ellestad A ³³	1980	Paliers	Max/sous-max	Sains
Ellestad B ³³	1980	Paliers	Max/sous-max	Sains
Kattus ³⁴	1967	Paliers	Max/sous-max	Malades
Maksud & Coutts ³⁵	1971	Paliers	Max/sous-max	Malades/Sains
Naughton ³⁶	1964	Paliers	Max/sous-max	Malades
Protocole d'Oslo ³⁷	1998	Paliers	Max/sous-max	Sains
Test de MSC ³⁸	1958	Paliers	Max/sous-max	Malades/Sains
Test de Ribisl ³⁹	1969	Paliers	Max/sous-max	Malades/Sains
Treadmill Jogging n° 1 ⁴¹	1993	Temps	Sous-max	Malades
Treadmill Jogging n° 2 ⁴²	1993	Temps	Sous-max	Malades
Wilson ¹	1978	Paliers	Max/sous-max	Sains/Malades
Tests de marche				
Treadmill Walking n° 1 ⁴⁰	1991	Temps	Sous-max	Malades
Treadmill Walking n° 2 ⁴¹	1993	Temps	Sous-max	Malades

mais aussi par l'augmentation du degré (ou pourcentage) d'inclinaison du tapis (pente). Le premier palier consiste à marcher à 2,7 km.h⁻¹ pendant trois minutes avec une pente de 10 %. Ensuite, au second palier (à 4 minutes), l'intensité augmente par 2 % de pente et une vitesse de 4 km.h⁻¹. Puis, les paliers augmentent de 2 % et d'une vitesse de 1,3 km.h⁻¹ toutes les minutes jusqu'à épuisement de l'individu. Ce protocole a été modifié et adapté par la suite pour des individus ayant des maladies chroniques¹². Seuls les deux premiers paliers ont été modifiés. En effet, le palier débute à 2,7 km.h⁻¹ avec une pente à 0 %. Puis au second palier, la pente est augmentée de 5 %. Le test de Bruce est couramment utilisé en cardiologie pédiatrique¹³⁻¹⁴, et chez les adultes ayant des pathologies cardiovasculaires¹⁵. Ce protocole peut être réalisé de façon maximale ou sous-maximale. En effet, plusieurs équations de prédiction pour estimer la VO₂ max d'un individu sont disponibles.

Le test de Balke¹¹

Le protocole de Balke et Ware (1959) représente

aussi un test d'effort par paliers (figure 3). En revanche, sa vitesse reste constante (5,5 km.h⁻¹). L'intensité de travail est simplement augmentée par l'inclinaison du tapis. Au début de l'épreuve, l'individu réalise une course à une vitesse de 5,5 km.h⁻¹ avec une pente de 0 %. A la deuxième minute, il y a une augmentation de 2 % de la pente. Puis, jusqu'à la fin de l'épreuve, les paliers seront d'une minute avec une augmentation de 1 % de la pente seulement. Par la suite, ce protocole a été modifié, adapté et validé chez l'enfant⁵.

Tout comme le protocole de Bruce, le test d'effort de Balke peut être administré en exercice maximal ou sous-maximal et, est utilisé chez l'adulte dans des situations cliniques différentes telles que les maladies cardiovasculaires ou l'obésité^{16,17}.

Les tests de terrain

Les tests de terrain se déroulent, la plupart du temps, dans un gymnase, ou à l'extérieur. Les tests en navette et de marche font partie des tests les plus utilisés en tant que tests de terrain pour évaluer ou

Tableau 2 : Principaux tests de terrain pour évaluer l'endurance cardiorespiratoire.

Nom	Année	Critère de relevé	Max/Sous-max	Indications
Tests de course				
Test de Brue ⁴³	1985	Paliers	Max	Sains
Test de Cooper ⁴⁴	1968	Distance	Max	Sains
Test en navette ⁴⁵	1980	Paliers	Max	Sains
Test en navette ¹⁸	1982	Paliers	Max	Sains
Test en navette ¹⁹	1988	Paliers	Max	Sains
Conconi ⁴⁹	1982	Paliers	Sous-max	Sains
<i>Control Aerobic Training-test</i> ⁶⁰	1986	Paliers	Max	Sains
Test de Margaria n° 1 ⁵¹	1975	Distance/Temps	Max	Sains
Test de Margaria n° 2 ⁵¹	1975	Distance/Temps	Max	Sains
6 min endurance ⁵³	1991	Distance	Max	Sains
5 min ⁵⁴	1996	Distance	Max	Sains
1 mile (1,6 km) ⁴²	1993	Temps	Sous-max	Malades
15 minutes ⁵⁶	1963	Distance	Sous-max	Malades
1,5 mile (2,4 km) ¹	1993	Temps	Sous-max	Malades
Tests de marche				
1,5 mile (2,4 km) ¹	1993	Temps	Sous-max	Malades
UKK 2 km ⁵²	1991	Temps/FC	Sous-max	Sains/Malades
<i>Six minutes Walk Test</i> ²⁶	1982	Distance	Sous-max	Malades
<i>Two minutes Walk Test</i> ²⁶	1982	Distance	Sous-max	Malades
400 m (LDCW) ⁵⁵	2001	Temps	Sous-max	Malades
RFWT ⁴⁶	1986	Temps	Sous-max	Malades
Osness ⁴⁷	1990	Temps	Sous-max	Malades
Marche en navette ⁴⁸	1992	Paliers	Max	Malades
<i>Twelve minutes Walk Test</i> ²⁵	1976	Distance	Sous-max	Malades
* <i>Rockport Fitness Walking Test.</i>				

estimer l'endurance cardiorespiratoire.

*Le test en navette*¹⁸

Le test en navette a été créé en 1982, puis modifié en 1988, par une réduction des paliers de 2 minutes à 1 minute pour les enfants¹⁹. Il s'agit d'un test progressif. Le test débute par de la marche, puis graduellement, le sujet est amené à courir le plus longtemps possible en suivant la vitesse imposée. Ce test se déroule sur une piste de 20 mètres délimitée par des repères visuels. Le sujet doit faire des allers-retours sur cette piste, en suivant le rythme des signaux sonores émis et la vitesse augmente toutes les minutes. Le test débute à 8,5 km.h⁻¹, puis la vitesse est augmentée de 0,5 km.h⁻¹ toutes les minutes. Le test prend fin lorsque le sujet n'arrive plus à suivre la

cadence : il n'arrive plus à être au niveau du repère visuel en même temps que le signal sonore. Chaque palier correspond à un coût énergétique donné. La VO₂ max est alors estimée par le coût énergétique du dernier palier parcouru. On note le dernier palier effectué, ce qui permet d'en déduire la vitesse puis la consommation maximale d'oxygène.

L'avantage principal de ce test est qu'il permet d'étudier un groupe avec un seul observateur. Il est facilement administré durant les cours d'éducation physique et sportive par les enseignants. Son inconvénient principal est la succession de départs et d'arrêts en demi-tour, ce qui a tendance à fatiguer plus rapidement l'enfant.

Ce test a montré de bonnes corrélations avec

des mesures en laboratoire et en terrain²⁰⁻²². De ce fait, le test en navette a été choisi pour faire partie de la batterie *Eurofit*²³. Il est utilisé dans de nombreuses pathologies chez l'enfant, notamment l'obésité²⁴.

Les tests de marche^{25,26}

Les tests de marche consistent à parcourir la plus grande distance sur une période donnée. Une fois la distance enregistrée, il est possible d'estimer la capacité fonctionnelle du sujet. Le test peut se faire à l'intérieur comme à l'extérieur. Le sujet va marcher autour d'une piste balisée par des repères visuels jusqu'au temps prédéfini avant le test. Plusieurs sujets peuvent être évalués en même temps par un seul observateur. Le sujet s'arrête à la fin du temps ou alors avant s'il en n'est plus capable. Les tests de marche demandent un effort sous-maximal, et sont donc plus adaptés et sûrs pour des enfants malades. Trois tests de marche ont été développés durant ces dernières années.

McGavin *et al.* (1976) sont les premiers à avoir développé un test de marche sur une durée de 12 minutes. Il existe une corrélation significative entre ce test et un test sur cycloergomètre²⁵. De Greef *et al.* (2005) ont démontré la reproductibilité de ce test sur des patients atteints d'une maladie cardiaque²⁷. Par la suite, Butland *et al.* (1982) ont encore réduit ce temps de marche à 6 minutes, puis 2 minutes, et ont démontré qu'il n'y avait aucune différence significative pour l'évaluation de la capacité fonctionnelle aux trois temps définis²⁶. Cependant, il semblerait que le test de 6 minutes soit un bon compromis, et le mieux adapté, du fait d'un temps d'effort plus court. Ces tests ont démontré leurs bonnes performances comparés à des tests de laboratoire²⁸. Les tests de marche sont ainsi utilisés dans diverses pathologies tant chez l'adulte que chez l'enfant : maladies cardiaques, respiratoires, musculaires²⁸⁻³⁰.

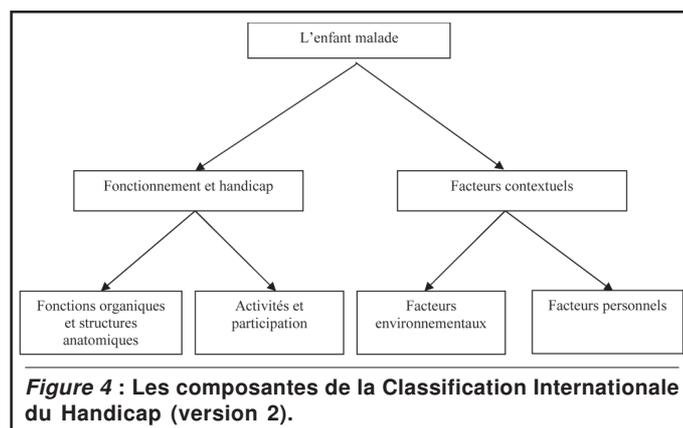
APPLICATIONS EN PEDIATRIE

De nombreuses études ont utilisé ces méthodes soit chez des enfants sains, soit chez des enfants malades. Une étude épidémiologique nutritionnelle récente (étude HELENA ; www.helenastudy.com) a évalué l'état nutritionnel, la condition physique et l'activité physique de plus de 3.500 adolescents supposés sains en Europe⁵⁷. Le choix des investigateurs s'est porté sur l'utilisation du test en navette en mesure indirecte et maximale pour évaluer la condition physique de ces adolescents. En effet, l'utilisation de ce test a permis d'évaluer plusieurs adolescents simultanément et à moindre coût. Grâce à ces mesures, il a pu être montré par exemple qu'une faible condition physique était associée négativement à différents marqueurs de la résistance à l'insuline, à une forte concentration en leptine, et à une faible densité minérale osseuse⁵⁸⁻⁶⁰. Par ailleurs, les investigateurs ont pu établir des seuils de condition physique chez l'adolescent en fonction de l'âge et du genre⁶¹. Une partie des adolescents (N = 193) ont réalisé ce test en

navette en mesure directe, par l'intermédiaire d'une calorimétrie directe portable, afin que les auteurs puissent établir une nouvelle équation de prédiction de la VO_2 max⁶².

Certains adolescents évalués dans cette étude épidémiologique présentaient un surpoids ou une obésité. Pour les enfants et adolescents atteints de cette pathologie, il n'est pas recommandé d'utiliser ce type de test. En effet, le test en navette engendre des cassures au niveau du rythme de course, ainsi que des changements de direction sollicitant les articulations, fragiles dans cette pathologie. Ainsi, plusieurs auteurs ont utilisé des tests de marche (12 et 6 minutes) pour évaluer la condition physique d'enfants et adolescents en surcharge pondérale⁶³⁻⁶⁵. Geiger *et al.* ont démontré chez des adolescents obèses une amélioration de la distance au test de marche de 6 minutes après un programme d'intervention, indiquant une amélioration de la condition physique⁶⁵. Vanhelst *et al.* ont obtenu des résultats similaires en utilisant le même test afin d'évaluer l'effet d'un programme d'une année d'activité physique adaptée (programme CEMHaVi) sur la condition physique d'enfants et adolescent obèses⁶⁴. Ces résultats ont été renforcés en les validant contre un test en laboratoire en mesure directe sous-maximale⁶⁴. En effet, les auteurs ont réalisé en supplément le test de Balke modifié afin de pouvoir confirmer leurs données d'évaluation de la condition physique. Récemment, une équation de prédiction de la VO_2 max a été établie chez l'enfant et l'adolescent obèse permettant ainsi de pouvoir estimer la condition physique sans mesure invasive sur l'enfant obèse (pas de masque, pas de prise de sang pour la mesure des lactates, etc.), ni de prendre de risques majeurs d'aller jusqu'à l'épuisement⁶⁶. Ce type de test est maintenant largement utilisé dans d'autres pathologies, telles que la mucoviscidose, ou encore les différentes maladies cardiaques⁶⁷⁻⁶⁹.

Chacun de ces tests (tableaux 1 et 2) présente des avantages et des inconvénients. Le choix du test doit prendre en considération l'état de santé de l'enfant. Une classification du fonctionnement, du handicap et de la santé permettant de décrire un état de santé de l'enfant a été rédigée et approuvée (figure 4)⁷⁰. Les tests peuvent participer à l'évaluation de la prise en charge thérapeutique, à l'évaluation pronostique et



permettre de mieux appréhender le handicap social et la qualité de vie du patient. Même si le test de terrain en mesure indirecte et sous-maximale est la technique la moins précise pour l'évaluation de la condition physique, elle reste la plus simple à mettre en œuvre, permet d'évaluer plusieurs sujets simultanément, et est de faible coût. Cette technique est plus particulièrement utilisée dans le suivi de maladies chroniques de l'enfant telle que l'obésité ou encore chez des enfants atteints de handicap mental chez qui la prévalence de l'obésité est élevée⁷¹.

CONCLUSIONS

L'évaluation de la capacité fonctionnelle cardiorespiratoire d'un individu est nécessaire dans l'évaluation initiale et le suivi du retentissement de plusieurs maladies chroniques, en particulier cardiaque et respiratoire de l'enfant. La variété des tests existants permet au clinicien, au chercheur, un éventail de choix possibles en fonction de la pathologie du patient et de son âge. Bien que les tests maximaux et en laboratoire soient plus précis, il est souvent préférable d'utiliser un test de terrain en pédiatrie. Ce type de test est particulièrement utile dans des études transversales où il faut analyser un grand nombre de sujets en même temps.

BIBLIOGRAPHIE

- Heyward VH : Advanced fitness assessment and exercise prescription. 3^e édition. Champaign, Illinois, Human Kinetics Books, 1991
- Pouessel G, Santos C, Thumerelle C *et al.* : Reproductibilité du test de marche en navette chez des enfants atteints de mucoviscidose. *Rev Mal Respir* 2003 ; 20 : 711-8
- Eakin BL, Finta KM, Serwer GA, Beekman RH : Perceived exertion and exercise intensity in children with or without structural heart defects. *J Pediatr* 1992 ; 120 : 90-3
- Andreacci JL, Robertson RJ, Dube JJ, Aaron DJ, Dixon CB, Arslanian SA : Comparison of maximal oxygen consumption between obese black and white adolescent. *Pediatr Res* 2005 ; 58 : 478-82
- Marinov B, Kostianev S, Turnovska T : Modified treadmill protocol for evaluation of physical fitness in pediatric age group : comparison with Bruce and Balke protocols. *Acta Physiol Pharmacol Bulg* 2003 ; 27 : 47-51
- Werner WG, DiFrancisco-Donoghue J, Lamberg EM : Cardiovascular response to treadmill testing in Parkinson disease. *J Neurol Phys Ther* 2006 ; 30 : 68-73
- Evrengul H, Tanriverdi H, Kose S *et al.* : The relationship between heart rate recovery and heart rate variability in coronary artery disease. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2006 ; 11 : 154-62
- Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB : *Textbook of work physiology*. 4^e édition. New York, McGraw-Hill, 2003
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL : *Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition et performance*. 4^e édition. Paris, Maloine, St-Hyacinthe, Edisem, 2001
- Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D : Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* 1973 ; 85 : 546-62
- Balke B, Ware RW : An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. *U S Armed Forces Med J* 1959 ; 10 : 875-88
- Lerman J, Bruce RA, Sivarajan E, Pettet GE, Trimble S : Low-level dynamic exercises for earlier cardiac rehabilitation : aerobic and hemodynamic responses. *Arch Phys Med Rehab* 1976 ; 57 : 355-60
- Costa P, Carrico A, Rego C, Areias JC : Exercise testing in pediatric cardiology. *Rev Port Cardiol* 2005 ; 24 : 885-95
- Mani A, Singh T, Calton R, Chacko B, Cherian B : Cardiovascular response in anemia. *Indian J Pediatr* 2005 ; 72 : 297-300
- Guler N, Eryonucu B, Gunes A, Guntekin U, Tuncer M, Ozbek H : Effects of trimetazidine on submaximal exercise test in patients with acute myocardial infarction. *Cardiovasc Drugs Ther* 2003 ; 17 : 371-4
- Carnethon MR, Gidding SS, Nehgme R, Sidney S, Jacobs DR Jr, Liu K : Cardiorespiratory fitness in young adulthood and the development of cardiovascular disease risk factors. *JAMA* 2003 ; 290 : 3092-100
- Misquita NA, Davis DC, Dobrovolsky CL, Ryan AS, Dennis KE, Nicklas BJ : Applicability of maximal oxygen consumption criteria in obese, postmenopausal women. *J Womens Health Gend Based Med* 2001 ; 10 : 879-85
- Leger LA, Lambert J : A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982 ; 49 : 1-12
- Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J : The multistage 20 meter shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci* 1988 ; 6 : 93-101
- Leger L, Gadoury C : Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO₂ max in adults. *Can J Sport Sci* 1989 ; 14 : 21-6
- Sproule J, Kunalan C, McNeill M, Wright H : Validity of 20-MST for predicting VO₂ max of adult Singaporean athletes. *Br J Sports Med* 1993 ; 27 : 202-4
- Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC : Validation of two running tests as estimates of maximal aerobic power in children. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986 ; 55 : 503-6
- Council of Europe : Eurofit provisional handbook : testing physical fitness. London, HMSO, 1983
- Ng C, Marshall D, Willows ND : Obesity, adiposity, physical fitness and activity levels in Cree children. *Int J Circumpolar Health* 2006 ; 65 : 322-30
- McGavin CR, Gupta SP, McHardy GJ : Twelve-minute walking test for assessing disability in chronic bronchitis. *Br Med J* 1976 ; 1 : 822-3
- Butland RJ, Pang J, Gross ER, Woodcock AA, Geddes DM : Two, six, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1982 ; 284 : 1607-8
- De Greef MH, Sprenger SR, Elzenga CT *et al.* : Reliability and validity of a twelve-minute walking test for coronary heart disease patients. *Percept Mot Skills* 2005 ; 100 : 567-75
- Rubim VS, Drumond Neto C, Romeo JL, Montera MW : Prognostic value of the Six-Minute Walk Test in heart failure. *Arq Bras Cardiol* 2006 ; 86 : 120-5
- Weber N, Brand P, Kohlhauff M, Haussinger K : Six-minute-walking-test with and without oxygen in patients with COPD : comparison of walking distance and oxygen saturation in varying forms of application. *Pneumologie* 2006 ; 60 : 220-8

30. King S, Wessel J, Bhambhani Y, Maikala R, Sholter D, Maksymowych W : Validity and reliability of the 6 minute walk in persons with fibromyalgia. *J Rheumatol* 1999 ; 26 : 2233-7
31. Costill DL, Fox EL : Energetics of marathon running. *Med Sci Sports* 1969 ; 1 : 81-6
32. Thomas C, Plowman SA, Looney MA : Reliability and Validity of the Anaerobic Speed Test and the Field Anaerobic Shuttle Test for Measuring Anaerobic Work Capacity in Soccer Players. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 2002 ; 6 : 187-205
33. Ellestad MH : Stress Testing. Philadelphia, FA Davis Co, 1980
34. Kattus AA Jr, Hanafee WN, Longmire WP Jr, MacAlpin RN, Rivin AU : Diagnosis, medical and surgical management of coronary insufficiency. *Ann Intern Med* 1968 ; 69 : 114-36
35. Maksud MG, Coutts KD : Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. *Med Sci Sports* 1971 ; 3 : 63-5
36. Naughton J, Balke B, Nagle F : Refinements in method of evaluation and physical conditioning before and after myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1964 ; 14 : 837-43
37. Fredriksen PM, Ingjer F, Nystad W, Thaulow E : Aerobic endurance testing of children and adolescents, a comparison of two treadmill-protocols. *Scand J Med Sci Sports* 1998 ; 8 : 203-7
38. Mitchell J, Sproule B, Chapman C : The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *J Clin Invest* 1958 ; 37 : 538-46
39. Ribsil P : Effects of training upon the maximal oxygen uptake of middle-aged men. *Int Z Angew Physiol* 1969 ; 27 : 154-60
40. Ebbeling CB, Ward A, Puleo EM, Widrick J, Rippe JM : Development of a single-stage submaximal treadmill walking test. *Med Sci Sports Exerc* 1991 ; 23 : 966-73
41. Latin RW, Elias BA : Predictions of maximum oxygen uptake from treadmill walking and running. *J Sports Med Phys Fitness* 1993 ; 33 : 34-9
42. George JD, Vehrs PR, Allsen PE, Fellingham GW, Fisher AG : VO_2 max estimation from a submaximal 1-mile track jog for fit college-age individuals. *Med Sci Sports Exerc* 1993 ; 25 : 401-6
43. Brue F : Une variante du test progressif et maximal de Léger-Boucher : le test de VMA derrière cycliste (test VMA). *Colloque médico-tehnique de la Fédération Française d'Athlétisme*. Toulouse, 1985 : 25-30
44. Cooper KH : A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA* 1968 ; 203 : 201-4
45. Leger L, Boucher R : An indirect continuous running multistage field test : the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci* 1980 ; 5 : 77-84
46. Rockport Walking Institute : Rockport fitness walking test. Marlboro MA, ed. Rockport Walking Institute, 1986
47. Osness WH, Adrian M, Clark B, Hoeger W, Raab D, Wiswell R : Functional fitness assessment for adults over 60 years (A field based assessment). Reston VA, ed. American Alliance of Health, Physical Education, Recreation and Dance
48. Singh SJ, Morgan MDL, Scott S, Walters D, Hardman AE : Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 1992 ; 47 : 1019-24
49. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L : Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol* 1982 ; 52 : 869-73
50. Chanon R, Stephan H : Le CAT test : Control Aerobic Training. *Revue EPS*, 1986 : 49-53
51. Margaria R, Aghemo P, Pinera Limas F : A simple relation between performance in running and maximal aerobic power. *J Appl Physiol* 1975 ; 38 : 351-2
52. Oja P, Laukkanen R, Pasanen M, Tyry T, Vuori I : A 2-km walking test for assessing the cardiorespiratory fitness of healthy adults. *Int J Sports Med* 1991 ; 12 : 356-62
53. Billat V, Hautier C, Bianchi JP, Pinoteau J, Koralsztein JP : Evolution des paramètres cinématiques et bioénergétiques de la course au cours d'une épreuve de temps limite à vitesse maximale aérobie. *Innovation and Technology in Biology and Medecine* 1991 ; 12 : 89-97
54. Chamoux A, Berthon P, Laubignat JF : Determination of maximum aerobic velocity by a five minute test with reference to running world records. A theoretical approach. *Arch Physiol Biochem* 1996 ; 104 : 207-11
55. Simonsick EM, Montgomery PS, Newman AB : Measuring fitness in healthy older adults : The Health ABC Long Distance Corridor Walk. *J Am Geriatr Soc* 2001 ; 49 : 1544-8
56. Balke B : A simple field test for the assessment of physical fitness. *Rep Civ Aeromed Res Inst US* 1963 ; 53 : 1-8
57. Moreno LA, De Henauw S, González-Gross M *et al.* : Design and implementation of the Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence Cross-Sectional Study. *Int J Obes* 2008 ; 32 : S4-11
58. Jiménez-Pavón D, Ortega FB, Artero EG *et al.* : Physical activity, fitness, and serum leptin concentrations in adolescents. *J Pediatr* 2012 ; 160 : 598-603
59. Jiménez-Pavón D, Ruiz JR, Ortega FB *et al.* : Physical activity and markers of insulin resistance in adolescents : role of cardiorespiratory fitness levels - the HELENA study. *Pediatr Diabetes* 2013. Epub ahead of print
60. Gracia-Marco L, Vicente-Rodríguez G, Casajús JA, Molnar D, Castillo MJ, Moreno LA : Effect of fitness and physical activity on bone mass in adolescents : the HELENA Study. *Eur J Appl Physiol* 2011 ; 111 : 2671-80
61. Ortega FB, Artero EG, Ruiz JR *et al.* : Physical fitness levels among European adolescents : the HELENA study. *Br J Sports Med* 2011 ; 45 : 20-9
62. Ruiz JR, Ramirez-Lechuga J, Ortega FB *et al.* : Artificial neural network-based equation for estimating VO_2 max from the 20 m shuttle run test in adolescents. *Artif Intell Med* 2008 ; 44 : 233-45
63. Morinder G, Mattsson E, Sollander C, Marcus C, Larsson UE : Six minute walk test in obese children and adolescents : reproducibility and validity. *Physiother Res Int* 2009 ; 14 : 91-104
64. Vanhelst J, Fardy PS, Mikulovic J *et al.* : Changes in obesity, cardiorespiratory fitness and habitual physical activity following a one-year intervention program in obese youth : a pilot study. *J Sports Med Phys Fitness* 2011 ; 51 : 670-5
65. Geiger R, Willeit J, Rummel M *et al.* : Six-minute walk distance in overweight children and adolescents : effects of a weight-reducing program. *J Pediatr* 2011 ; 158 : 447-51
66. Vanhelst J, Fardy PS, Salleron J, Béghin L : The six-minute walk test in obese youth : reproducibility, validity, and prediction equation to assess aerobic power. *Disabil Rehabil* 2013 ; 35 : 479-82

67. Cunha MT, Rozov T, de Oliveira RC, Jardim JR : Six-minute walk test in children and adolescents with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 2006 ; 41 : 618-22
68. Pouessel G, Santos C, Thumerelle C *et al.* : Reproducibility of the shuttle walk test in children with cystic fibrosis. *Rev Mal Respir* 2003 ; 20 : 711-8
69. Bellet RN, Adams L, Morris NR : The 6-minute walk test in outpatient cardiac rehabilitation : validity, reliability and responsiveness : a systematic review. *Physiotherapy* 2012 ; 98 : 277-86
70. <http://dcalin.fr/fichiers/cif.pdf>
71. Mikulovic J, Marcellini A, Compte R *et al.* : Prevalence of overweight in adolescents with intellectual deficiency. Differences in socio-educative context, physical activity and dietary habits. *Appetite* 2011 ; 56 : 403-7

Correspondance et tirés à part :

J. VANHELST
C.H.R.U. de Lille
Hôpital Jeanne de Flandre
Centre d'Investigation Clinique CIC pédiatrique
1 place de Verdun
59037 Lille Cedex
E-mail : jeremy.vanhelst@chru-lille.fr

Travail reçu le 3 octobre 2012 ; accepté dans sa version définitive le 15 mars 2013.