

# La fréquence cardiaque maximale

## Mythe ou réalité ?

La fréquence cardiaque (FC) d'un individu n'est pas stable, elle varie en permanence en fonction des besoins en  $O_2$  (besoins énergétiques) du corps. Cette régulation très fine dépend des branches parasympathique et sympathique du système nerveux autonome. La FC augmente avec la dépense énergétique. Par définition, la fréquence cardiaque maximale (FCmax) est celle que ne peut dépasser un sujet lors d'un effort maximal. Sur le plan physiologique, elle est déterminée par l'impossibilité d'augmenter ou de poursuivre un effort physique à une intensité programmée. Elle peut aussi être limitée par la survenue de signes de mauvaise tolérance des paramètres cardiaques fonctionnels. Pour simplifier, la FCmax correspond à la fréquence maximale à laquelle un cœur humain peut battre idéalement. La connaître permet au sportif d'avoir une efficacité maximale lors de son entraînement. Chez le cardiaque, la FCmax peut servir de marqueur d'efficacité, voire de sécurité.

Dr Marc Ferrière\*

### INTRODUCTION

Le débit d'oxygène ( $VO_2$ ) – ou consommation d'oxygène – reflète la dépense énergétique de l'organisme. Le  $VO_2$  est le produit du débit cardiaque (DC) et de la différence artérioveineuse en oxygène. L'élévation du  $VO_2$  à l'effort dépend des adaptations de ces deux facteurs. Le DC augmente à l'effort grâce à une adaptation de ces deux facteurs de régulation, FC et volume d'éjection systolique (VES). Jusqu'au premier seuil ventilatoire, le DC augmente pour une large part par une hausse du VES qui plafonne à ce niveau car le temps raccourci de la diastole limite le remplissage ventriculaire. Puis, pour un exercice plus intense, c'est la FC qui majore le DC. L'augmentation initiale de la FC

jusqu'au premier seuil ventilatoire est essentiellement due à la diminution progressive du frein vagal. Au-delà, l'accélération de la FC est surtout due à l'augmentation de l'activité sympathique et à l'action des catécholamines circulantes. Lors d'un effort, la tachycardie est synonyme de raccourcissement du cycle cardiaque. Ce raccourcissement se fait plus aux dépens de la diastole que de la systole. À la FCmax, le temps de diastole très court limite en plus le remplissage coronaire. Le myocarde est donc confronté à une augmentation de son travail cardiaque avec une hausse de ses besoins en  $O_2$  et une difficulté d'adaptation des apports en  $O_2$ . Chez un sujet sain à l'exercice, la balance besoins-apport en  $O_2$  reste équilibrée malgré la diminution de la durée de la diastole. Mais, lorsqu'il existe une pathologie cardiaque,

un déséquilibre en  $O_2$  apparaît. Au  $VO_{2max}$ , la FCmax est classiquement atteinte et sa variation est alors faible (< 2-3 bpm) car les limites de régulation du système nerveux autonome sont atteintes. Sa connaissance pour un sujet donné est donc d'importance et sa détermination doit être aussi précise que possible.

### LA FRÉQUENCE CARDIAQUE MAXIMALE, UNE INDIVIDUALITÉ AU-DELÀ DES FORMULES

La FC de repos, et en particulier la bradycardie de repos d'un sujet sportif ou non, ne préjuge en rien de sa FCmax (1).

La FCmax diminue de manière certaine avec l'âge (moins bonne réponse du nœud sinusal aux stimuli catécholergiques). De très nombreuses formules (ce qui veut dire qu'aucune n'est parfaite) sont proposées pour estimer la FCmax théorique (Tab. 1). La formule la plus populaire et la plus utilisée dans les milieux médical et extramédical,  $220 - \text{âge} \pm 10$  bpm (Astrand, 1954), a le mérite de la simplicité. Elle peut continuer à être utilisée, mais comme un repère, en connaissant ses limites, et non comme un dogme. Elle est extraite d'études réalisées chez des sujets non ou peu entraînés qui ont fait leur effort sur cycloergomètre. Or, d'une part, sur vélo, les sujets peu entraînés arrêtent l'effort à cause de leurs limites musculaires et, d'autre part, pour un sujet donné, sa FCmax en course à pied sera supérieure à celle observée sur vélo (en moyenne 10 bpm). Les cyclistes très entraînés sont pratiquement

\*Institut contre le cancer de Montpellier; praticien hospitalier honoraire, CHRU Montpellier

**Tableau 1 - Quelques formules de FCmax (données de la littérature).**

<b>Astrand et Rythming (1954)</b>	$FC_{max} = 220 - A$
<b>Imbaret (1994)</b>	$FC_{max} = 205,8 - 0,685 A$
<b>Roberges et Lannher (2002)</b>	$FC_{max} = 208,754 - 0,734 A$
<b>Gellish (2007)</b>	$FC_{max} = 207 - 0,7 A$
<b>Jones</b>	
<b>(homme &gt; 45 ans)</b>	$FC_{max} = 210 - 0,66 A$
<b>(femme &gt; 45 ans)</b>	$FC_{max} = 206 - 0,88 A$
<i>A = âge en années</i>	

les seuls à présenter la même FCmax sur les deux ergomètres. D'une manière générale, la formule 220 - âge surestime la FCmax des sujets jeunes et sous-estime la FCmax des plus âgés. Cette formule est globalement indépendante du sexe, au moins avant 45 ans. Après cet âge, la FCmax est un peu plus basse chez la femme que chez l'homme (**Tab. 1**). Enfin, les médicaments bradycardisants (bêta-bloquants, inhibiteurs du canal If) diminuent la FCmax.

Des études ont montré que cette FCmax théorique pouvait être dépassée sans altération fonctionnelle. Ainsi, une stimulation atriale droite au-dessus de la FCmax théorique (206 bpm au lieu de 184 bpm) ne changeait pas les paramètres hémodynamiques d'un effort maximal chez des sujets sains en dehors d'une pression atriale droite plus basse (2). Donc, une FCmax très élevée ne limite pas le  $VO_2$ max du sujet sain.

La réalisation d'un entraînement intense n'augmente pas la FCmax. Au contraire, elle a tendance à diminuer (3-7 %) de quelques battements (3). Globalement, les sportifs explosifs ont une valeur de FCmax moins élevée que les endurants.

Chez les sportifs endurants de niveau d'entraînement moyen, la FCmax des cyclistes est inférieure à celle des coureurs à pied de longue distance. Ainsi, 4 % des coureurs à pied contre 35 % des coureurs cy-

clistes dépassent les valeurs prédites de FCmax (4). La FCmax peut aussi diminuer au cours de la saison et même lors d'une épreuve prolongée ou par étapes. Cela s'expliquerait par une *down regulation* progressive des récepteurs adrénergiques aux stimulations catécholergiques répétées.

Chez les sportifs de haut niveau de même discipline, la FCmax varie aussi significativement. Ainsi, chez des rameurs de même âge, de même niveaux d'entraînement et de performance (olympique), les FCmax enregistrées sur le terrain variaient de 160 à 220 bpm.

### **IMPORTANCE DE LA DÉTERMINATION DE LA FCmax INDIVIDUELLE**

Si on veut utiliser la FCmax pour guider l'intensité d'une activité physique, voire programmer la réalisation d'une épreuve d'effort, la multiplicité des formules, les variations individuelles et les interférences du type de sport, et éventuellement de médicaments, justifient la détermination de la FCmax individuelle.

Différentes méthodes ont été proposées pour déterminer la FCmax en laboratoire ou sur le terrain.

En laboratoire, l'épreuve d'effort classique est "sous-maximale" par rapport aux valeurs de FC enregistrées sur cardiofréquencemètre. La

différence est d'une dizaine de bpm, avec des variations individuelles importantes. Pour lever cette limite, une variante de protocole d'épreuve d'effort peut être proposée : après 20 min d'échauffement, 3 min d'effort à haute intensité, puis 2 min de repos à vitesse modérée, puis à nouveau 3 min à haute intensité et la dernière minute de ces 3 min à effort maximal. La FC la plus haute atteinte est retenue comme FCmax.

Comme test de terrain, le VAMEVAL est très utilisé. Il est réalisé sur une piste d'athlétisme, balisée tous les 50 m. Après l'échauffement, on augmente la vitesse de 1 km/h toutes les 2 min jusqu'à impossibilité de suivre le rythme imposé. Le dernier palier parcouru définit la vitesse aérobie maximale (VAM) et la FCmax correspondante. Il est proposé secondairement de courir à la VAM précédemment déterminée. Un maintien de la VAM pendant au moins 3 min permet de confirmer cette vitesse. Sinon, c'est le palier de vitesse précédent qui est validé. Ce test est très utilisé en milieu sportif professionnel ou de haut niveau d'entraînement.

Pour des amateurs entraînés, on a proposé, sur un parcours de 1 500 m (débutants) ou de 2 000 à 3 000 m, une accélération progressive toutes les 2 min (ou tous les 400 m), avec un dernier 400 m à vitesse maximale. La mesure de la FCmax cardiaque est calculée avec un cardiofréquencemètre.

### **INTERPRÉTATION D'UNE FCmax DIFFÉRENTE DE LA FCmax THÉORIQUE**

#### **FCmax SUPÉRIEURE À LA FCmax THÉORIQUE**

Cette observation est plus fréquente chez les cyclistes que chez les coureurs. Cela signifie simplement que

la formule conventionnelle utilisée est inadaptée pour ce sujet. Il ne court pas plus de risque au-dessus de la FCmax que son collègue du même âge, qui lui est dans les normes. Cette adaptation n'a pas non plus de valeur pronostique pour l'avenir. Ainsi, lors d'une épreuve d'effort, il n'y a aucune raison d'arrêter l'effort d'un sujet asymptomatique avec tracé ECG normal qui présente une FCmax supérieure à la FCmax théorique. Dans ce cadre, l'arrêt de l'effort doit être l'épuisement du sujet.

En termes de performance physique, les sujets qui ont la plus grande capacité d'exercice ( $VO_2\text{max}$  élevé) sont parmi ceux qui ont la FCmax la plus haute. Plus le pourcentage de  $VO_2\text{max}$  par rapport aux valeurs théoriques est élevé et plus la FCmax est haute (5). Les sportifs qui ont une FCmax élevée ont une plus grande réserve respiratoire et un index de masse corporelle plus faible que ceux avec une FCmax plus basse (6).

#### FCmax INFÉRIEURE À LA FCmax THÉORIQUE

Chez le sportif sain, l'intérêt unique de connaître la FCmax réelle est de ne pas surestimer la FC d'entraînement qui risque d'être trop élevée si on se base sur les formules d'estimation de la FCmax classique.

Chez le cardiaque ou le sportif traité, la définition d'insuffisance chronotrope repose essentiellement sur la notion de FCmax théorique. L'insuffisance chronotrope peut être définie comme l'incapacité du cœur à réguler sa FC de manière adaptée aux contraintes de l'exercice physique, c'est-à-dire, classiquement, atteindre 75 à 80 % de la FCmax théorique (Tab. 1, formule de Jones pour les personnes âgées, formule sous bêtabloquants pour les sujets traités).

Il est bien connu que la FC de repos

est un marqueur pronostique de mortalité globale et cardiovasculaire, indépendant des autres facteurs de risque cardiovasculaires classiques. Plus la FC de repos est basse et plus longue est l'espérance de vie. Une insuffisance chronotrope affirmée est aussi un marqueur de mortalité plus précoce. L'insuffisance chronotrope est extrêmement fréquente chez l'insuffisant cardiaque et coronarien. Elle est majorée, bien sûr, par les traitements bradycardisants. Cette incapacité d'adaptation de la FC doit être prise en compte pour que les cardiaques puissent maintenir une activité physique suffisante pour améliorer leur pronostic en termes de prévention secondaire.

#### LA DÉRIVE CARDIAQUE À L'EFFORT

La dérive cardiaque est caractérisée par une accélération de la FC au-delà de 40 à 80 min d'effort d'intensité constante et sous-maximale. Cette adaptation, qui permet de maintenir la performance, est multifactorielle. Elle dépend des facteurs environnementaux qui régissent le niveau de déshydratation (température et degré d'hydrométrie), le niveau d'entraînement (dérive d'autant plus précoce et marquée que l'entraînement est faible) et la fatigue myocardique (augmentation de la sécrétion de catécholamines pour maintenir la contractilité). Cette dérive peut aboutir à l'atteinte de la FCmax pour un effort sous-maximal (7).

#### LA FC D'ENTRAÎNEMENT

Les données recommandées et utilisées sont toutes discutables car fondées sur des données scientifiques variables. Elles sont donc très "entraîneur-dépendantes", voire "chapelle-dépendantes". Quelques repères raisonnables sont proposés dans le tableau 2 pour les sédentaires, les sujets âgés et les sportifs amateurs de niveau moyen. Ces repères doivent être adaptés individuellement en fonction de la sensation d'essoufflement. Un exercice est considéré comme réalisé en endurance tant que l'essoufflement est présent mais reste modéré et constant avec la durée de l'exercice, sans empêcher complètement de parler.

Le "seuil" de Conconi a été proposé en 1982 (1, 5, 8). Il est présenté comme une méthode non invasive de la détermination du deuxième "seuil" lactique pour les coureurs à pied. Chez la plupart des coureurs (65-75 %), la relation linéaire entre FC et vitesse de course présente une cassure (point de déflexion) qui correspondrait au deuxième "seuil" lactique (7). Ce point correspondrait à la FCmax d'entraînement au-delà de laquelle l'équilibre métabolique est rompu. Ce point de déflexion, observé dans d'autres disciplines sportives d'endurance (cyclisme, kayak [ligne et descente], ski de fond...), reste critiqué car non détectable chez près de 50 % de ces sportifs. Il pourrait aussi correspondre à une FC trop élevée. Les résultats variables pourraient

**Tableau 2 - Formules "repères" pour les fréquences cardiaques d'entraînement en endurance.**

<b>Sédentaire sain ou modérément entraîné</b>	$FC = 170 - 0,5 A (\pm 10 \text{ bpm})$
<b>Coureurs à pied</b>	$FC = 165 - 0,5 A (\pm 5 \text{ bpm})$
<b>Cyclistes</b>	$FC = 160 - 0,5 A (\pm 5 \text{ bpm})$
A = âge en années	

être dus aux protocoles utilisés, différents du test princeps. Le protocole de Conconi comprenait un échauffement de 10 min à 50 % de la réserve cardiaque (FCmax individuelle - FC repos), puis une course (8 à 12 tours) sur piste (400 m) avec une vitesse de départ comprise entre 10 et 14 km/h pour terminer à une vitesse comprise entre 18 et 22 km/h, la vitesse durant le test étant augmentée de 0,5 km/h tous les 200 m, jusqu'à épuisement. Le recueil de la FC est fait toutes les 5 secondes avec un cardiofréquencemètre. Des variantes de ce test ont été proposées avec augmentation de la vitesse toutes les minutes ou toutes les 30 secondes (9).

## FRÉQUENCES CARDIAQUES CIBLES POUR L'ENTRAÎNEMENT SELON LES SUJETS

Des valeurs de FC cibles ont été proposées pour la réhabilitation à l'effort des patients coronariens et insuffisants cardiaques.

Dans l'insuffisance coronarienne, la FC cible d'entraînement est le

plus souvent comprise entre 60 et 80 % de la FCmax. Une FC plus élevée augmente probablement le risque d'incident sans augmenter le bénéfice en termes de prévention. La FCmax doit être déterminée individuellement lors d'une épreuve d'effort réalisée sous traitement.

Dans l'insuffisance cardiaque, un bénéfice en termes de survie est obtenu pour une activité physique de faible intensité. Il est observé dès que la FC atteint 40 % de la FCmax, même si la cible doit être classiquement comprise entre 60 et 70 % de la FCmax théorique. La détermination de la FCmax individuelle lors d'une épreuve d'effort permet de déterminer au mieux la FC cible du patient.

Chez le sportif endurant, rappelons que l'échauffement (50 % de la FCmax est souvent proposé) doit durer au moins 10 min chez l'adulte jeune et qu'il doit s'accroître progressivement pour doubler au-delà de 50 ans. Pour des activités durant au moins 40 min, une fréquence cible de 90 % de la FCmax est un compromis pratique pour les amateurs éclairés.

## CONCLUSION

La FC est un paramètre simple à recueillir, riche en enseignement pour la pratique d'une activité physique ou sportive chez le patient cardiaque, le sédentaire sain et le sportif aguerri. Pour un entraînement réellement individualisé, le point majeur à souligner est l'importance de la détermination individuelle de la FCmax qui doit être mesurée et non estimée à partir de formules validées sur une population plus ou moins adaptée. L'observation d'une FCmax élevée, dépassant la valeur théorique, chez un sujet sain asymptomatique, n'est pas un frein à la performance, n'impose aucun bilan complémentaire ni traitement et n'est pas une contre-indication à la pratique sportive.

### MOTS-CLÉS

*Fréquence cardiaque, Fréquence cardiaque maximale, Entraînement*

### BIBLIOGRAPHIE

1. Passelergue PA, Cormery B, Lac G et al. Utility of the Conconi's heart rate deflection to monitor the intensity of aerobic training. *J Str Cond Res* 2006; 20 : 88-94.
2. Munch GD, Svendsen JH, Damsgaard R et al. Maximal heart rate does not limit cardiovascular capacity in healthy humans: insight from right atrial pacing during maximal exercise. *J Physiol* 2014; 592 : 377-90.
3. Zavorsky GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 2000; 29 : 13-28.
4. Knoepfli-Lenzin C, Hoengli B, Boutellier U. Optimised heart rate formulae to monitor endurance training in sedentary individuals. *J Sports Sci* 2013.
5. Fabre N, Passelergue P, Bouvard M et al. Comparison of heart rate deflection and ventilatory threshold during a field cross-country roller-skiing test. *J Strength Cond Res* 2008; 22 : 1977-84.
6. Kaminsky DA, Knyazhitskiy A, Sadeghi A, Irvin CG. Assessing maximal exercise capacity: peak work or peak oxygen consumption? *Respir Care* 2014; 59 : 90-6.
7. Carré F, Laporte T. Guide du cardiofréquencemètre. Paris : Frison-Roche, 2011.
8. Vachon JA, Bassett DR Jr, Clarke S. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. *J Appl Physiol* 1999; 87 : 452-9.
9. Sentija D, Vucetic V, Markovic G. Validity of the modified Conconi running test. *Int J Sports Med* 2007; 28 : 1006-11.