

# La fréquence cardiaque est-elle le garde-fou

## des intensités d'exercice ?

Organe sacré pour les Aztèques et les Egyptiens, siège des émotions pour les romantiques, le cœur laisse rarement indifférent (1) et les sportifs ne font pas exception. Le cœur d'athlète focalise le débat sur la relation risque/bénéfice de l'activité physique, de l'entraînement sportif et de la compétition, depuis la Grèce Antique (2). Le stéthoscope de Laënnec, en 1816, le galvanomètre à corde d'Einthoven, en 1901, les Holters numériques et autres systèmes d'imagerie par résonance magnétique, de nos jours, nous ont permis, petit à petit, de percer les secrets de son fonctionnement. Dans le milieu sportif, la date qui fait référence est plutôt 1983. La société Polar commercialise le premier cardiofréquencemètre sans fil qui permet de stocker et de transférer les enregistrements de fréquence cardiaque (3). Avec le Sport Tester PE 2000 (Polar®, Kempele®, Finlande®), et toutes les évolutions qui ont suivi, on ne lirait plus seulement l'heure sur sa montre, l'on verrait aussi s'afficher les battements du cœur. Une révolution qui a marqué aussi bien les pratiques d'entraînement que le marché sportif. La fréquence cardiaque est-elle le garde-fou des intensités d'exercice ? Entre arguments commerciaux et réalité physiologique, cet article fait le point.

Pr Laurent Bosquet (Département de kinésiologie, Université de Montréal, Québec)

### > Introduction

Depuis les travaux publiés par Di Prampero et ses collaborateurs (4), on admet que la performance, dans les épreuves de longue durée, en course à pied, est déterminée, en très grande partie, par la consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\max$ ), l'endurance aérobie et le coût énergétique de la course. L'intensité de l'exercice (durée et fréquence des entraînements), permet d'orienter les processus d'adaptation vers l'une ou l'autre de ces composantes (5). L'intensité d'exercice doit donc faire l'objet d'un contrôle strict, que ce soit chez un sportif débutant, ou chez un athlète de haut niveau.

Grâce à l'accessibilité et à la validité des cardiofréquencemètre (6, 7), la mesure de la fréquence cardiaque occupe une place de choix parmi les méthodes de contrôle de l'intensité d'exercice (8).



### > Contrôle de l'intensité d'exercice

#### Le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale

L'une des méthodes les plus anciennes, qui est toujours très utilisée, consiste à prescrire les intensités d'exercice en

pourcentage de la fréquence cardiaque maximale ( $f_c\max$ ). Les premiers cliniciens à utiliser cette approche recommandaient de s'entraîner entre 70 et 85 % de la  $f_c\max$ , pour espérer maintenir, ou améliorer, la consommation maximale d'oxygène (9). Des variantes utilisent, notamment, la fréquence cardiaque

de réserve (10), mais toutes ces méthodes nécessitent de connaître, au préalable, la  $f_c$  max. Il s'agit là d'une première limite, car, la plupart du temps, la  $f_c$  max est estimée, au moyen d'équations de prédiction qui utilisent l'âge comme variable dépendante. L'équation la plus connue (220 - âge) est également la plus critiquée. Elle décrirait assez peu la réalité, surtout au-delà de 30 ans, et est entachée d'une erreur de prédiction majeure d'un point de vue clinique (écart type = 10 à 12 battements par minute (bpm)) (11). Plusieurs études, transversales et longitudinales, ont confirmé que l'équation décrivant le mieux la relation entre la  $f_c$  max et l'âge est :  $207 - 0,7 \times \text{âge}$  (12, 13). Toutefois, le problème de l'erreur de prédiction persiste, puisque l'écart type rapporté par Tanaka et ses collaborateurs (13) est 10 bpm. Cela signifie que, sur 100 individus, âgés de 40 ans, 95 d'entre eux ont une  $f_c$  max comprise entre 159 et 199 bpm. La variabilité inter-individuelle est beaucoup trop importante pour se permettre d'utiliser cette estimation dans un but d'individualisation de l'intensité d'entraînement. Si l'on souhaite utiliser la  $f_c$  max, il faut donc la mesurer directement.

Une seconde limite est que l'on considère que la  $f_c$  reflète directement l'évolution du débit cardiaque ( $Q_c$ ). D'après l'équation de Fick :  $Q_c = f_c \times \text{VES}$  (où VES est le volume d'éjection systolique), il a souvent été rapporté que le VES atteint son maximum entre 40 et 50 % de  $VO_2$  max (14). Dans ce cas, l'évolution de la  $f_c$ , au-delà de cette intensité, reflète fidèlement l'évolution de  $Q_c$ , et, globalement, de la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ). Cependant, les travaux réalisés par Gledhill et ses collaborateurs (15) ont montré que ce phénomène de plateau disparaît à mesure que le niveau de pratique augmente. Cela signifie que,

chez deux individus entraînés, un même pourcentage de  $f_c$  max correspond à un pourcentage de  $Q_c$  max ou de  $VO_2$  max qui peut être fort différent. La relation  $f_c$  - %  $VO_2$  max, pour des intensités sous-maximales, est donc indépendante de  $f_c$  max, et prescrire une intensité à partir de cet indice peut conduire à surestimer ou sous-estimer l'intensité métabolique réelle.

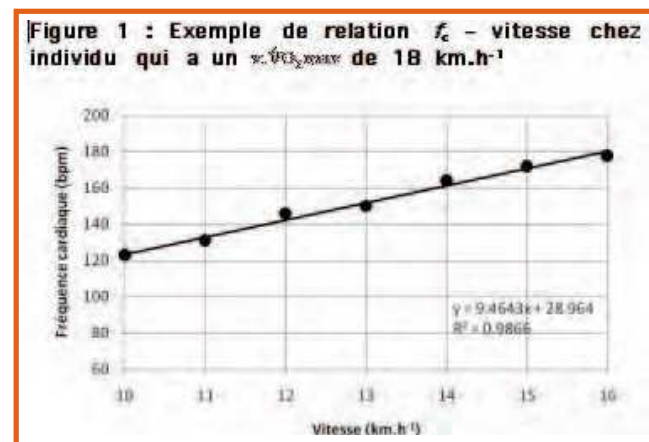
Une troisième limite de cette approche est que l'on considère que la  $f_c$  augmente, de façon linéaire, jusqu'à l'atteinte de  $VO_2$  max. Cette hypothèse se vérifie, dans certains cas, mais pas dans tous (16). En moyenne, la relation %  $f_c$  max - %  $VO_2$  max est linéaire, jusqu'à 85/90% de  $VO_2$  max, puis plafonne (17). Cela signifie, qu'au-delà de cette intensité, la  $f_c$  ne permet plus de discriminer les intensités d'exercice. Un individu qui court à 90, 100, voire 110 % de la vitesse qui permet de solliciter  $VO_2$  (v.  $VO_2$  max), aura une  $f_c$  relativement semblable, pour chacune de ces trois intensités.

### La relation $f_c$ - vitesse

Considérant ces limites, l'approche la plus adéquate, dans une perspective d'individualisation et de contrôle de l'intensité d'exercice

par la  $f_c$ , consiste à dresser la relation  $f_c$  - vitesse (18). Ceci peut se faire, très simplement, sur une piste d'athlétisme ou un parcours étalonné, dans le cadre d'un échauffement aménagé. Il suffit de réaliser 4 à 6 répétitions, de 5 minutes chacune, à une intensité croissante, jusqu'à environ 85 % de v.  $VO_2$  max (19). Si nous faisons un graphique des résultats, nous obtenons une relation linéaire positive (Fig. 1).

La relation  $f_c$  - vitesse est très reproductible quand les conditions sont contrôlées, puisque le coefficient de variation interjournalière est compris entre 1 et 2 %, selon l'intensité d'exercice (20). En revanche, elle est moins fiable quand les conditions ne sont pas contrôlées (conditions météorologiques, surface, cycles menstruels...) (21). Dans ce cas, la variation interjournalière peut facilement dépasser 10 % (22, 23). La relation  $f_c$  - vitesse est sensible à l'entraînement, en endurance. Quel que soit l'âge, le sexe, le niveau initial ou la capacité d'adaptation, la fréquence cardiaque diminue pour un  $VO_2$  donné (24). Il convient, toutefois, de noter qu'elle reste identique quand ce  $VO_2$  est exprimé en pourcentage de  $VO_2$  max. Il s'agit d'un phénomène très intéressant dans la perspective de l'entraîneur.



**Figure 1 - Exemple de relation  $f_c$  - vitesse chez un individu qui a un  $v.VO_2$  de 18 km.h<sup>-1</sup>**

Dans la mesure où les intensités d'exercice sont généralement prescrites en pourcentage de  $v.VO_2\max$ , il n'est pas utile d'actualiser la relation  $f_c$  - vitesse à intervalles réguliers, du moins à l'échelle d'une saison de compétition. Si la  $f_c$  qui correspond à 70% de  $v.VO_2\max$  est de 150 bpm en début de saison, elle sera toujours d'environ 150 bpm en fin de saison. La seule différence est que, dans la mesure où  $v.VO_2\max$  aura augmenté dans l'intervalle de temps, la vitesse qui correspond à 70 % de  $v.VO_2\max$  sera elle-même plus élevée.

● **Pour illustrer cette méthode,** prenons l'exemple d'un individu de 40 ans ayant un  $v.VO_2\max$  de 18 km.h<sup>-1</sup>, qui se prépare pour un marathon d'automne. Il souhaite améliorer son endurance aérobie, ce qui va nécessiter un volume de travail important, à des intensités comprises entre 65 et 85, voire 90 % de  $v.VO_2\max$ . Il aimerait savoir comment utiliser le cardiofréquencemètre qu'il vient de se procurer. Vous lui suggérez, dans un premier temps, de mesurer sa fréquence cardiaque, entre 10 et 16 km.h<sup>-1</sup> (vitesse de son record au 10 km), à raison de 5 minutes par vitesse, et d'une augmentation de 1 km.h<sup>-1</sup> par palier. Les résultats qu'il obtient sont présentés sur la figure 1. Vous lui demandez, ensuite, de vous présenter les séances types qu'il utilise dans son entraînement (Tab. 1). Connaissant l'intensité relative d'exercice (en % de  $v.VO_2\max$ ), vous pouvez déterminer la vitesse à laquelle il devra courir pour chacune de ces séances.

Le même tableau peut être fait en se limitant à l'intensité d'exercice (de 60 à 85 % de  $v.VO_2\max$ ). La  $f_c$  cible peut alors être déterminée, graphiquement, en utilisant la droite de régression de la relation  $f_c$  - vitesse (Fig. 1), ou, mathématiquement, en utilisant l'équation de cette droite ( $f_c = 9,4643 \times \text{vitesse} + 28,964$ ). Il faut,

ensuite, tenir compte de la variabilité interjournalière, qui est de plus ou moins 2 % (20). C'est la raison pour laquelle il est plus pertinent de prescrire une "zone de  $f_c$ " plutôt qu'une " $f_c$  cible". Cette zone est tout simplement calculée en ajoutant et en retranchant 2 % à la  $f_c$  cible (Tab. 1). Dans la mesure où la relation  $f_c$  - %  $v.VO_2\max$  n'est pas modifiée par l'entraînement (24), les indications pourront être utilisées plusieurs mois. La vitesse, qui correspond à 70, 80 ou 90 %, va certainement augmenter, mais la  $f_c$  devrait rester, à peu de choses près, la même.

### > Conditions environnementales et dérive de la $f_c$

Quelques aspects méritent d'être considérés. Contrairement à ce que nous pourrions croire, la  $f_c$  n'est pas constante au cours d'un exercice continu, surtout lorsqu'il s'agit d'un exercice de longue durée (25). Il se produit un phénomène de dérive de la  $f_c$ , dont l'amplitude dépend des conditions environnementales (température, humidité, altitude). L'hypothèse, la plus souvent avancée pour expliquer ce phénomène, est une diminution concomitante du volume plasmatique et du VES, induite, en grande partie, par la déshydratation (26), qui doit être compensée par une augmentation de la  $f_c$  pour maintenir le  $Q_c$  (27).

La dérive peut atteindre 10 à 15 %, au

cours d'un exercice de 60 minutes, réalisé dans des conditions environnementales normales (28, 29). Elle peut atteindre 20 à 25 % lorsque la contrainte environnementale est plus importante (chaleur, altitude) (30, 31). D'un point de vue pratique, cela signifie que la zone de  $f_c$  doit être accompagnée d'une zone de dérive, qui va de 10 à 25 % selon les conditions environnementales (Tab. 1). Le coureur doit être informé qu'il s'agit d'un phénomène normal d'amplitude variable qui n'indique pas nécessairement qu'il a augmenté sa vitesse de course, et qui peut être réduit s'il prend soin de bien s'hydrater pendant l'effort (26). Enfin, une mise en garde s'impose quant à l'utilisation de la  $f_c$  pour contrôler la vitesse en compétition. Il est, en effet, bien établi que le stress de la compétition induit une augmentation importante de la  $f_c$  pour une vitesse donnée (15 à 20 bpm), que ce soit celle du 10 km, du 20 km, ou du marathon (18).

### > Conclusion

La  $f_c$  peut être un outil très intéressant pour contrôler les intensités d'entraînement. Il convient, toutefois, d'en connaître les limites. En particulier, elle n'est d'aucune utilité pour les exercices dont l'intensité est supérieure à 90 % de  $v.VO_2\max$ , et doit être interprétée avec prudence, en compétition. L'approche, la plus pertinente, consiste à dresser la relation

**Tableau 1 : Exemple d'utilisation de la relation  $f_c$  - vitesse chez un individu qui a un  $v.VO_2\max$  de 18 km.h<sup>-1</sup>**

Répétitions (n)	Durée (min)	Intensité		Fréquence cardiaque (bpm)				
		Relative (%)	Absolue (km.h <sup>-1</sup> )	Cible <	Limite >	Limite <	Dérive >	Dérive
1	60 à 120	65	11,8	141	138	143	155	176
1	40 à 60	70	12,5	147	144	150	162	184
3	10	85	15,3	174	170	177	$f_c$ max	$f_c$ max
4	5	90	16,2	182	179	186	$f_c$ max	$f_c$ max

$f_c$  – vitesse, afin d'identifier les zones de  $f_c$  propres à chaque vitesse de course (comprises entre 65 et 85-90 % de  $v_{VO_2max}$ ). Il faut tenir compte de la variabilité interjournalière ( $\pm 2$  %) et de la possibilité de dérive au cours des exercices de longue durée (10 à 25 % selon les conditions environnementales).

Enfin, il n'a jamais été démontré que la  $f_c$  pouvait donner des indications sur l'intensité d'entraînement optimale, pour améliorer les facteurs de la performance dans les épreuves de longue durée. Il s'agit d'un outil, parmi d'autres, au service de l'athlète, pour contrôler sa charge d'entraînement. Ni plus, ni moins ! ■

#### MOTS CLÉS

Fréquence cardiaque,  
Intensité d'exercice,  
Vitesse, Dérive,  
Entraînement

## Bibliographie

- Gorny P. Le cœur, organe mythique. Pour la science 2003 ; 6-11.
- Thompson PD. Historical concepts of the athlete's heart. Med Sci Sports Exerc 2004 ; 36 : 363-70.
- Laukkanen RM, Virtanen PK. Heart rate monitors : state of the art. Journal of Sports Sciences 1998 ; 16 : S3-S7.
- Di Prampero PE, Atchou G, Bruckner JC, Moia C. The energetics of endurance running. European Journal of Applied Physiology 1986 ; 55 : 259-66.
- Wenger HA, Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. Sports Medicine 1986 ; 3 : 346-56.
- Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. Med Sci Sports Exerc 2006 ; 38 : 887-93.
- Léger L, Thivierge M. Heart rate monitors: validity, stability and functionality. Phys Sports Med 1988 ; 16 : 143-51.
- Hills AP, Byrne NM, Ramage AJ. Submaximal markers of exercise intensity. Journal of Sports Sciences 1998 ; 16 : S71-S76.
- Londeree BR, Ames SA. Trend analysis of the %  $VO_2max$ -HR regression. Med Sci Sports 1976 ; 8 : 123-25.
- Karvonen J, Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. Sports Med 1988 ; 5 : 303-11.
- American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Sixth edition. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- Gellish RL, Goslin BR, Olson RE et al. Longitudinal Modeling of the relationship between age and maximal heart rate. Med Sci Sports Exerc 2007 ; 39 : 822-9.
- Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol 2001 ; 37 : 153-6.
- Astrand PO, Cuddy TE, Saltin B, Stenberg J. Cardiac output during submaximal and maximal work. J Appl Physiol 1964 ; 19 : 268-74.
- Gledhill N, Cox D, Jamnik R. Endurance athletes stroke volume does not plateau; major advantage is diastolic function. Medicine and Science in Sports and Exercise 1994 ; 26 : 1116-21.
- Astrand PO, Rodahl K, Dahl H, Stromme S. Textbook of work physiology, Champaign (Illinois). Human Kinetics Publishers ; 2003.
- Léger L, Gutierrez A, Choinière D, Ricart R. La relation %FC max - %  $VO_2max$  en fonction de l'âge, du sexe et de l'ergomètre. Science et Sports 1991 ; 6 : 65.
- Lambert MI, Mbambo ZH, Gibson SC. Heart rate during training and competition for long-distance running. Journal of Sports Sciences 1998 ; 16 : S85-S90.
- Selley EA, Kolbe T, Van Zyl CG et al. Running intensity as determined by heart rate is the same in fast and slow runners in both the 10 and 21 km races. Journal of Sports Sciences 1995 ; 13 : 405-10.
- Lamberts RP, Lemmink K, Durandt JJ, Lambert MI. Variation in heart rate during submaximal exercise: implications for monitoring training. Journal of Strength and Conditioning Research 2004 ; 18 : 641-5.
- Monod H. The validity of heart rate measurement in ergonomics. Ergonomics 1967 ; 10 : 485-537.
- Sykes K, Pace E, Charlesworth E. The reproducibility of submaximal work heart rates. Brit J Sports Med 1976 ; 10 : 67-70.
- Washburn R, Montoye H. Reliability of the heart rate response to submaximal upper and lower body exercise. Res Quat Exerc Sport 1985 ; 56 : 166-9.
- Skinner JS, Gaskill SE, Rankinen T et al. Heart rate vs % $VO_2max$ : age, sex, race, initial fitness and training response - HERITAGE. Medicine and Science in Sports and Exercise 2003 ; 35 : 1908-13.
- Achten J, Jeukendrup A. Heart rate monitoring: applications and limitation. Sports Medicine 2003 ; 33 : 517-38.
- Hamilton MT, Gonzalez-Alonso J, Montain SJ et al. Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. J Appl Physiol 1991 ; 71 : 871-7.
- Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Coyle EF. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. J Appl Physiol 1999 ; 86 : 799-805.
- Ekelund LG. Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. Acta Physiol Scand Suppl 1967 ; 292 : 1-38.
- Mognoni P, Sirtori MD, Lorenzelli F, Cerretelli P. Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1990 ; 60 : 239-43.
- Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL et al. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heart. J Appl Physiol 1999 ; 86 : 1032-9.
- Klausen K, Dill DB, Horvath SM. Exercise at ambient and high oxygen pressure at high altitude and at sea level. J Appl Physiol 1970 ; 29 : 456-63.