

La fréquence cardiaque peut-elle être utilisée pour détecter la fatigue ?

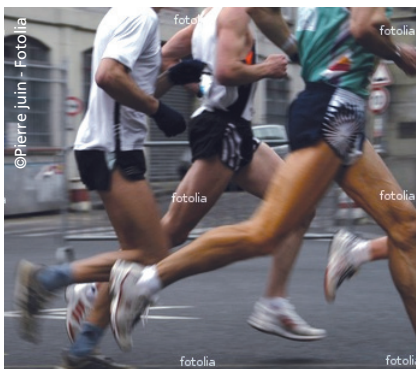
Atteindre une performance de pointe requiert des charges d'entraînement qui peuvent, parfois, amener la capacité d'adaptation de l'organisme aux limites de ses possibilités. Si une amélioration de la capacité de performance peut être anticipée lorsque la charge d'entraînement est suffisamment réduite à l'approche des compétitions majeures (1), les athlètes peuvent également être sujets à des périodes de fatigue plus ou moins longues, qui s'accompagnent, la plupart du temps, d'une diminution de la capacité de performance (2).

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

Le Collège Européen de Sciences du Sport a publié, tout récemment, une position de consensus qui définit les différentes étapes jalonnant le continuum allant de la performance optimale au surentraînement (3).

> Quelques définitions

Le "dépassement" est une diminution de la capacité de performance induite par une fatigue aiguë liée à la charge d'entraînement et aux autres facteurs de stress (vie familiale, vie professionnelle, vie affective...). Le dépassement est couramment utilisé dans l'entraînement sportif. On s'attend à ce qu'il soit suivi d'un effet de surcompensation, qui va permettre d'atteindre une capacité de performance plus élevée que ce qu'elle aurait été à la suite d'un entraînement normal. On parle alors de "dépassement fonctionnel". Si l'augmentation de la charge d'entraînement se poursuit trop longtemps, ou si d'autres sources de stress s'ajoutent, le sportif peut alors développer un état de fatigue beaucoup plus important,



Le "dépassement" est une diminution de la capacité de performance induite par une fatigue aiguë liée à la charge d'entraînement et autres facteurs de stress.

qualifié de "dépassement non fonctionnel". Dans ce cas, le retour de la capacité de performance au niveau initial peut nécessiter plusieurs semaines à plusieurs mois, alors qu'il n'est que de quelques jours à quelques semaines pour le dépassement fonctionnel. Le "syndrome de surentraînement" caractérise, quant à lui, une diminution de la capacité de performance induite par une fatigue chronique liée à la charge d'entraînement et aux autres facteurs de stress. Dans

ce cas, le délai de récupération peut nécessiter plusieurs mois, voire plusieurs années. Le syndrome de surentraînement constitue la phase la plus extrême du continuum de l'adaptation de l'organisme au stress. Il est relativement rare. En dehors de quelques études de cas (4-6), la plupart des travaux scientifiques publiés jusqu'à ce jour concernent le dépassement.

> Une question en suspens...

Compte tenu des conséquences que peut avoir le dépassement sur les résultats sportifs d'un athlète, surtout lorsqu'il n'est pas planifié, il est important, pour l'entraîneur et les membres de l'encadrement médical, de disposer d'outils de dépistage précoce, qui permettent d'ajuster la charge d'entraînement avant que se développe un état de dépassement non fonctionnel.

Dans la littérature

La fréquence cardiaque (FC) peut-elle être utilisée à cet effet ? Cette question

n'est pas nouvelle, il existe beaucoup de données publiées dans la littérature scientifique. Cependant, la variété des populations étudiées et des protocoles utilisés mène à des résultats qui peuvent être très différents d'une étude à l'autre. Le même constat s'applique à la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC). Martin Buchheit a fait une excellente présentation de la signification physiologique et de l'intérêt de ce marqueur dans un numéro précédent de la revue. La démocratisation de la mesure des intervalles RR (7) fait de la VFC un outil beaucoup plus accessible qu'il ne l'était il y a une dizaine d'années. Cependant, les résultats ne sont pas consistants et la question de la validité de la VFC pour détecter le dépassement reste en suspens (8, 9).

Une revue systématique

Nous avons récemment réalisé une méta-analyse (aussi appelée revue systématique) dont l'objectif était de combiner les résultats de la littérature scientifique afin de statuer sur la validité de la FC et de la VFC comme marqueurs du dépassement. Nous avons interrogé 6 bases de données (*Embase, Kinpubs, Physical Education Index, PubMed, SportDiscus et Web of*

Science) avec des termes et stratégies appropriés à chacune d'elle. Ceci nous a permis d'identifier 120 articles potentiellement utilisables. Un second tri a été réalisé à partir de différents critères. Ceux-ci prévoyaient, entre autres, que la population étudiée soit constituée d'athlètes et que toutes les garanties d'un traitement adéquat du signal soient données (pour la VFC). Au total, nous avons retenu 34 études, qui ont été regroupées en deux catégories, selon la durée de la période d'augmentation de la charge d'entraînement :

- inférieure à deux semaines ;
- ou supérieure à trois semaines.

Nous vous livrons, dans cet article, la primeur des résultats de cette étude, résumés dans le tableau 1.

> La FC de repos

En 1957, Wolf (10) a rapporté avoir observé une tachycardie au repos chez 47 sujets supposément surentraînés. Bien que ce symptôme ait été confirmé dans plusieurs textes de cette période (11, 12), Kereszty (13) a très tôt souligné le fait que cette altération n'était pas systématique. La même réserve est de mise dans les revues de littérature les plus récentes (9, 14). L'effet moyen

calculé dans notre méta-analyse ne nous a permis de mettre en évidence qu'un effet négligeable du dépassement sur la FC au repos ($p = 0,07$). Il semble, cependant, que ce résultat doit être nuancé selon la durée de la période d'augmentation de la charge d'entraînement. Nous constatons, en effet, que les interventions de moins de deux semaines induisent une tachycardie modérée ($p < 0,05$), suivie d'un retour au niveau initial lorsque la durée de l'intervention est plus longue. Une tachycardie de FC au repos peut donc être utilisée pour détecter la phase de fatigue aiguë qui caractérise le dépassement fonctionnel. Il faut, toutefois, garder à l'esprit qu'une normalisation ne traduit pas forcément un retour de la capacité de performance au niveau initial. L'amplitude de cette tachycardie est-elle suffisamment grande pour être détectée ? Elle est comprise, dans 95 % des cas, entre 2 et 7 battements par minute (bpm). Considérant que la variabilité inter-journalière de la FC au repos est d'environ 3 bpm (15), et qu'elle peut être beaucoup plus importante lorsque les conditions de mesure ne sont pas strictement contrôlées (16), cela signifie que cette tachycardie n'est pas détectable dans tous les cas.

Tableau 1 - Effet de l'augmentation de la charge d'entraînement sur la fréquence cardiaque et la variabilité de la fréquence cardiaque. Les résultats sont rapportés sous forme de différence standardisée¹ moyenne (intervalle de confiance à 95 %).

Catégories	Toutes les études	< 2 semaines	> 3 semaines
Fréquence cardiaque			
Repos	0,18 (- 0,02, -0,38)	0,55 (0,09, 1,02) ^a	0,03 (- 0,19, 0,26)
Exercice sous-maximal	- 0,27 (- 0,50, -0,03) ^a	- 0,03 (- 0,48, 0,43)	- 0,38 (- 0,63, - 0,13) ^b
Exercice maximal	- 0,38 (- 0,59, - 0,17) ^b	- 0,75 (- 1,32, - 0,17) ^a	- 0,33 (- 0,55, - 0,10) ^b
Variabilité de la fréquence cardiaque			
LH + HF	- 0,32 (- 0,67, 0,04)	- 0,49 (- 1,03, 0,04)	- 0,08 (- 0,57, 0,42)
LF/HF	0,41 (0,08, 0,73) ^a	0,52 (0,12, 0,93) ^a	0,18 (- 0,38, 0,74)

¹ : la différence standardisée est un nombre sans unités qui représente le nombre d'écarts type qui sépare deux moyennes. L'effet de l'intervention est considéré comme faible lorsque la différence standardisée est comprise entre 0,2 et 0,5, modéré lorsqu'elle est comprise entre 0,5 et 0,8, et élevé lorsqu'elle est supérieure à 0,8

^a : $p < 0,05$

^b : $p < 0,01$

> La FC à l'exercice sous-maximal

En 1988, Kuipers et Keizer (2) ont émis l'hypothèse que la fatigabilité des unités motrices habituellement recrutées au cours d'un exercice d'une intensité donnée était augmentée en état de dépassement. Pour maintenir cette intensité, le système nerveux n'aurait d'autre choix que d'augmenter la stimulation de ces unités motrices, et/ou de recruter d'autres unités motrices non spécifiquement entraînées, ce qui aurait comme corollaire une augmentation de la FC. Si cette hypothèse est supportée par certaines données expérimentales, notamment celles publiées par Fry et al. (17), d'autres auteurs ont émis l'hypothèse inverse, qui serait une diminution de la FC pour une même intensité d'exercice, attribuée à une désensibilisation des récepteurs β -adrénergiques du myocarde (18). En accord avec cette seconde hypothèse, nous avons pu constater une faible diminution de la FC ($p = 0,03$), qui est particulièrement évidente suite aux interventions de plus longue durée ($p = 0,003$). Si une diminution de la FC pour une même intensité d'exercice peut, en théorie, être interprétée comme un indicateur de dépassement non fonctionnel, son amplitude n'est pas suffisante pour avoir une quelconque valeur clinique. Elle est comprise, dans 95 % des cas, entre 1 et 6 bpm, alors que la variabilité inter-journalière de la FC, pour une même intensité d'exercice, est comprise entre 6 et 8 bpm (19).

> La FC maximale

Comme nous le verrons dans un prochain numéro de la revue, la FC maximale est couramment utilisée pour contrôler l'intensité d'exercice (14). Son utilisation comme marqueur du dépassement est plus récente et il semble exister un consensus autour

du fait qu'elle diminue dans les phases de dépassement (9, 20). C'est d'ailleurs ce qui ressort de notre méta-analyse, puisque la FC maximale est la seule mesure qui est modifiée indépendamment de la durée d'augmentation de la charge d'entraînement. Il convient cependant de noter, comme pour la tachycardie de repos, que cette diminution n'est pas détectable dans tous les cas. En effet, l'amplitude de cette diminution est comprise, dans 95 % des cas, entre 2 et 6 bpm, alors que la variabilité inter-journalière de la FC maximale est d'environ 4 bpm (21).

> Récupération de la FC à l'arrêt de l'exercice

La récupération de la FC à l'arrêt de l'exercice est considérée par les cliniciens, depuis longtemps, comme un marqueur du dépassement (13, 22). C'est donc tout à fait logiquement qu'on le retrouve dans la plupart des revues de littérature dédiées au dépassement et au surentraînement (2, 23-25).

Aussi surprenant que cela puisse paraître, nous n'avons pas été en mesure d'identifier d'études scientifiques susceptibles d'être incluses dans cette méta-analyse. Les données recueillies par Verma et al. (26) sont, à notre connaissance, les seules qui aient été publiées. Elles suggèrent indirectement (car la seule mesure réalisée est la pression artérielle) que la FC nécessite plus de temps pour revenir au niveau initial. A l'opposé, Urhausen et al. (27) font mention d'un délai plus court pour revenir au niveau initial lors des phases de dépassement. Cependant, ils n'ont pas publié leurs valeurs. Ainsi, toute conclusion sur la validité de ce marqueur pour détecter le dépassement sera abusive tant qu'elle ne sera pas supportée par des données expérimentales claires.

> Variabilité de la FC

La VFC est une mesure non invasive de la régulation autonome du système cardiovasculaire (28). Elle est généralement considérée comme un prédicteur indépendant de la mortalité toute cause (29). Son utilisation dans la détection du dépassement est plus récente et repose sur l'hypothèse du dysfonctionnement autonome proposée par Lehman et al. (30). Dans cette méta-analyse, nous avons pu mettre en évidence une augmentation modérée de la balance autonome (LF/HF ; $p = 0,01$) après 2 semaines d'augmentation de la charge d'entraînement, suivie d'un retour au niveau initial lorsque la période de surcharge est plus longue. Comme la FC de repos, la VFC peut être utilisée pour détecter la phase de fatigue aiguë qui caractérise le dépassement fonctionnel, mais ne semble pas en mesure d'apporter d'informations pertinentes sur la fatigue chronique qui est associée au dépassement non fonctionnel ou au syndrome de surentraînement. Le conditionnel reste toutefois de mise, car nous ne disposons pas de beaucoup de données à cet égard.

Cette augmentation de la balance autonome est-elle détectable ? Nous n'avons pas été en mesure de calculer une moyenne pondérée car, selon l'algorithme utilisé, les valeurs de LF/HF peuvent être très différentes (de $0,52 \pm 0,70$ à 153 ± 82) (31, 32). Quoi qu'il en soit, il faut bien avoir à l'esprit que la VFC est une mesure qui n'est que moyennement reproductible (33), particulièrement LF/HF (34). Si elle doit être utilisée dans le cadre d'un suivi longitudinal, il est important de standardiser au maximum le protocole utilisé. Cela implique de contrôler la charge d'entraînement du jour précédent, la fréquence respiratoire (0,2 Hz, soit un cycle complet toutes les 5 secondes), le moment de la journée, et tous les stimuli susceptibles

d'exercer un effet sympathomimétique, tels que la température, la luminosité, le bruit, la caféine, ou l'alcool. Il est également important de s'assurer que le traitement du signal respecte les recommandations faites par la *Task Force* (35).

> En conclusion

La FC est affectée par le dépassement. Les modifications susceptibles d'être observées dépendent de la durée de la période d'augmentation de la

charge d'entraînement et, nous pouvons le supposer, du niveau de fatigue atteint. La fatigue à court terme s'accompagne d'une tachycardie au repos concomitante d'une augmentation de la balance autonome, ainsi que d'une diminution de la FC maximale. Lorsque le niveau de fatigue atteint s'élève encore, nous observons une normalisation des valeurs de repos, tant de la FC que de la VFC, et une diminution plus importante des valeurs d'exercice. Dans tous les cas, l'amplitude de ces modifications n'est

pas suffisante pour pouvoir être détectée de façon systématique. Le diagnostic du dépassement et, a fortiori, du syndrome de surentraînement nécessite de recouper ces informations avec d'autres signes cliniques. ■

MOTS CLÉS

Entraînement, Fatigue, Fréquence cardiaque, Méta-analyse, Récupération, Surentraînement, Tachycardie

Bibliographie

- Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D et al. Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007 ; 39 : 1358-65.
- Kuipers H, Keizer HA. Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Med* 1988 ; 6 : 79-92.
- Meeusen R, Duclos M, Gleeson M et al. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *Eur J Sport Sci* 2006 ; 6 : 1-14.
- Rowbottom DG, Keast D, Green S et al. The case history of an elite ultra-endurance cyclist who developed chronic fatigue syndrome. *Med Sci in Sports Exerc* 1998 ; 30 : 1345-8.
- Uusitalo ALT, Vamkonen-Korhonen M, Helenius P et al. Abnormal serotonin reuptake in an overtrained, insomniac and depressed team athlete. *Int J Sports Med* 2004 ; 25 : 150-3.
- Hedelin R, Wiklund U, Bjerle P et al. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 : 1531-3.
- 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.
- Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 2003 ; 33 : 889-919.
- Urhausen A, Kindermann W. Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Med* 2002 ; 32 : 95-102.
- Wolf W. A contribution to the questions of overtraining. *Sportmed* 1957 ; 2 : 35.
- Mellerowicz H, Barron D. Overtraining. In: Larsson L, ed. *Encyclopedia of sport sciences and medicine*. New York: MacMillan, 1971 : 1310-2.
- Wolf W. Staleness. Overtraining. In: Larsson L, ed. *Encyclopedia of sport sciences and medicine*. New York: MacMillan, 1971 : 1048-50.
- Kereszty A. Overtraining. In: Larsson L, ed. *Encyclopedia of sport sciences and medicine*. New York: MacMillan, 1971 : 218-22.
- Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 2003 ; 33 : 517-38.
- Marks BL, Lightfoot JT. Reproducibility of resting heart rate variability with short sampling periods. *Can J Appl Physiol* 1999 ; 24 : 337-48.
- Monod H. The validity of heart rate measurement in ergonomics. *Ergonomics* 1967 ; 10 : 485-537.
- Fry RW, Morton AR, Garcia-Webb P et al. Biological responses to overload training in endurance sports. *Eur J Appl Physiol* 1992 ; 64 : 335-44.
- Lehmann M, Foster C, Keul J. Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Med Sci Sports Exerc* 1993 ; 25 : 854-62.
- Lamberts RP, Lemmink K, Durandt JJ et al. Variation in heart rate during submaximal exercise: implications for monitoring training. *J Strength Cond Res* 2004 ; 18 : 641-5.
- Halsom SL, Jeukendrup AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med* 2004 ; 34 : 967-81.
- Bosquet L, Gamelin FX, Berthoin S. Reliability of post-exercise heart rate recovery. *Int J Sports Med* 2007 : in press.
- Ryan A, Brown R, Frederick E et al. Overtraining of athletes: a round table. *Phys Sports Med* 1983 ; 11 : 93-110.
- Fry RW, Morton AR, Keast D. Overtraining in athletes. An update. *Sports Med* 1991 ; 12 : 32-65.
- Hooper SL, Mackinnon LT. Monitoring overtraining in athletes. Recommendations. *Sports Med* 1995 ; 20 : 321-7.
- Lehmann M, Lormes W, Opitz-Gress A et al. Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports. *J Sports Med Phys Fitness* 1997 ; 37 : 7-17.
- Verma SK, Mahindroo SR, Kansal DK. Effect of four weeks of hard physical training on certain physiological and morphological parameters of basket ball players. *J Sports Med* 1978 ; 18 : 379-84.
- Urhausen A, Gabriel HH, Weiler B et al. Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int J Sports Med* 1998 ; 19 : 114-20.
- Freeman R. Assessment of cardiovascular autonomic function. *Clin Neurophysiol* 2006 ; 117 : 716-30.
- Tsuji H, Larson MG, Venditti FJ Jr et al. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study. *Circulation* 1996 ; 94 : 2850-5.
- Lehmann M, Foster C, Dickhuth HH et al. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 1998 ; 30 : 1140-5.
- Hedelin R, Kentta G, Wiklund U et al. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 : 1480-4.
- Halsom SL. Performance, metabolic and hormonal alterations during overreaching. Ph.D thesis, Queensland University of Technology, 2005.
- Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA. The reliability of short-term measurements of heart rate variability. *Int J Cardiol* 2005 ; 103 : 238-47.
- Pinna GD, Maestri R, Torunski A et al. Heart rate variability measures: a fresh look at reliability. *Clin Sci (Lond)* 2007 ; 113 : 131-40.
- Malik M. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation* 1996 ; 93 : 1043-65.