

Analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque: méthodes, limites et exemples cliniques

CYRIL BESSON^a, Dr MATHIEU SAUBADE^b, Pr VINCENT GREMEAUX^c, Pr GRÉGOIRE P. MILLET^d et LAURENT SCHMITT^e

Rev Med Suisse 2020; 16: 1432-7

L'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) s'intéresse à l'observation des variations en millisecondes des intervalles entre les battements cardiaques et devient un outil d'investigation clinique de la fatigue de plus en plus utilisé, notamment chez les athlètes. Les paramètres étudiés reflètent indirectement la régulation de la fréquence cardiaque par le système nerveux autonome et la VFC est corrélée à différents états de fatigue, se révélant être un puissant biomarqueur dans le suivi de ces derniers. Cet article vise à donner les bases permettant de cerner la thématique et précise les bonnes pratiques quant à son utilisation et son interprétation. Une méthode permettant de caractériser différents états de fatigue est également présentée et donne des pistes pour une utilisation en clinique avec une approche systémique.

Heart rate variability: methods, limitations and clinical examples

Heart rate variability (HRV) is an analysis of milliseconds variations in intervals between heartbeats and has become an increasingly used tool for clinical investigation of fatigue, especially in athletes. Eliciting an indirect index of the autonomic nervous system regulation on the heart rate, HRV correlates with different fatigue states and appears to be a powerful biomarker in their monitoring. This article presents the tools to familiarize with this method while detailing good practices for use and interpretation. A method allowing characterization of different fatigue states is also presented for a clinical use with a systemic approach.

INTRODUCTION

L'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC; en anglais: *Heart Rate Variability* (HRV)) s'intéresse à l'observation des variations en millisecondes (ms) des intervalles

entre les battements cardiaques et est devenue un outil d'investigation clinique. L'intervalle R-R ou *Interbeat Interval* (IBI) est défini par le temps en ms entre deux pics R du complexe QRS du tracé d'un électrocardiogramme (ECG). Une variabilité spontanée normale et importante existe entre les écarts d'intervalles R-R et elle est mesurable par les méthodes d'analyses de VFC. La VFC est intimement liée à l'activité du système nerveux autonome (SNA) et ses branches orthosympathique et parasympathique innervant le myocarde; la première ayant un rôle excitateur, permettant d'augmenter le rythme et la force de contraction, la seconde ayant un rôle de frein vagal, ralentissant le rythme et la force de contraction.^{1,2} Elle est également sous l'influence de la respiration et de la pression artérielle^{1,3} et peut être considérée comme le témoin des échanges d'information entre le SNA et le cœur.^{4,5} La méthode montre un intérêt scientifique grandissant, avec plus de 3200 articles traitant du sujet, publiés sur ces 2 dernières années. Initialement développée dans le suivi du stress foetal⁶ puis pour le pronostic rythmique après syndrome coronarien aigu⁷, l'application de la méthode a depuis été utilisée avec succès dans une grande variété de spécialités (cardiologie, diabétologie, psychiatrie, sport...), notamment dans le suivi de la fatigue.⁸⁻¹² Un niveau de VFC élevé serait en relation avec un bon niveau de santé physique et psychologique.^{13,14} Depuis quelques années, une multitude d'applications et d'objets connectés permettent de récolter des indices de VFC et sont disponibles pour le grand public avec comme objectif d'avoir un retour sur l'état de fatigue/stress. Le corps médical doit faire face à ces données venant du patient et s'adapter à ces nouvelles pratiques.¹⁵ Cet article vise à donner les outils pour cerner la thématique en présentant les méthodes de mesure et les principaux paramètres en découlant, tout en précisant, les conditions et limites d'utilisation et d'interprétation. Une méthode existante permettant de caractériser des états de fatigue est également présentée et donne des pistes pour une utilisation en clinique, en association avec une approche systémique.

MÉTHODES D'ACQUISITION

Les standards d'acquisition, d'analyse et d'interprétation cliniques sont basés sur le consensus d'une task force internationale datant de 1996.² Il s'agit premièrement de récolter une suite d'intervalles R-R ou IBI que l'on représente en fonction du temps (**figure 1**). Le Holter et l'ECG constituent les principaux outils d'acquisition² mais, depuis une dizaine d'années, une partie des ceintures thoraciques des cardiofréquencesmètres du commerce sportif ont montré une très

^aMSc sciences du sport, chargé de recherche, Division de médecine physique et réadaptation, Département de l'appareil locomoteur, Centre de médecine du sport, Swiss Olympic Medical Center, CHUV, 1011 Lausanne, ^bDivision de médecine physique et réadaptation, Département de l'appareil locomoteur, Centre de médecine du sport, Swiss Olympic Medical Center, CHUV, 1011 Lausanne, Département de promotion de la santé et préventions, Centre universitaire de médecine générale et santé publique - Unisanté, 1011 Lausanne, ^cDivision de médecine physique et réadaptation, Département de l'appareil locomoteur, Centre de médecine du sport, Swiss Olympic Medical Center, CHUV, 1011 Lausanne, ^dInstitut des sciences du sport de l'Université de Lausanne (ISSUL), Université de Lausanne (UNIL), 1015 Lausanne, ^eCentre National de Ski Nordique et de Moyenne Montagne, 39220 Prémaman, France
 cyril.besson@chuv.ch | mathieu.saubade@chuv.ch
 vincent.gremeaux@chuv.ch | gregoire.millet@unil.ch
 laurent.schmitt@ensm.sports.gouv.fr

FIG 1 Évolution d'intervalles R-R

Enregistrement chez un sujet normal *a priori* non fatigué en fonction du temps. 5 minutes en position couchée suivies de 5 minutes en position debout. On observe une amplitude élevée couchée, témoin d'une prédominance normale de l'activité parasympathique en condition de repos stable, hors fatigue. Lors du passage à la position debout, la réduction de l'amplitude et de l'intervalle R-R moyen (baisse de la variabilité et augmentation de la FC) témoigne de l'augmentation normale de l'activité orthosympathique en réaction à la demande notamment de la régulation de la pression artérielle.
FC: fréquence cardiaque.

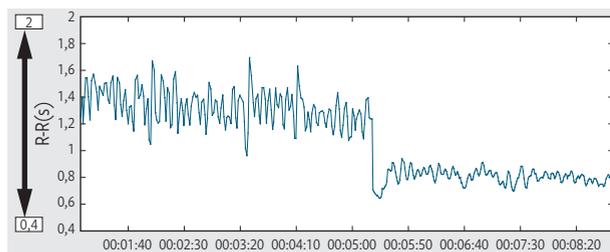
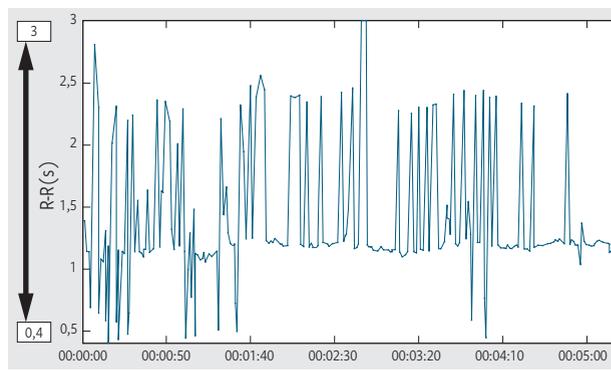


FIG 2 Exemple de signal avec des artefacts

Les artefacts du signal sont dus à un mauvais positionnement/contact avec la peau de la ceinture, lors d'une mesure ST de 5 minutes en position couchée. Ce type de signal doit être rejeté.
ST: Short-Term.



bonne fiabilité.¹⁶ Il est à noter que les capteurs cardio-optiques/photopléthysmographiques (PPG) pouvant mesurer la fréquence cardiaque (FC) au poignet ne montrent aujourd'hui pas la fiabilité nécessaire pour mesurer précisément les intervalles R-R.¹⁷ Plusieurs protocoles ont été établis et sont divisés en trois catégories de durée d'acquisition: 24 heures, *Short-Term* (ST) (environ 5 minutes) ou *Ultra-Short-Term* (UST) (< 5 minutes). Étant donné que les enregistrements longs représentent mieux les processus avec des fluctuations plus lentes (par exemple les rythmes circadiens) et la réponse du système cardiovasculaire à un éventail plus large de *stimuli* environnementaux, les valeurs issues d'analyses ST et UST ne sont pas comparables avec des valeurs mesurées sur 24 heures.¹⁸ Les valeurs ST et UST sont généralement mesurées en état stable, en conditions de repos et sont aussi cliniquement plus facilement accessibles que des enregistrements sur 24 heures. Ainsi, l'utilisation en clinique tend plutôt à utiliser les indices ST, qui montrent de plus une meilleure fiabilité.²

ANALYSES

La qualité du signal doit être excellente et un signal comportant trop d'artefacts doit être rejeté (figure 2). Les analyses mathématiques ensuite appliquées au signal via des logiciels dédiés sont multiples, mais les plus courantes peuvent être regroupées en trois domaines principaux: les domaines temporel, fréquentiel et non linéaire. Les analyses temporelles et fréquentielles sont les plus utilisées en clinique. Le **tableau 1** présente ainsi les principaux paramètres rencontrés dans la littérature et dont certains sont fournis via des objets connectés (par exemple le *Root Mean Square of Successive R-R Interval Differences* (RMSSD)). Les analyses temporelles renseignent sur la «quantité» de VFC observée dans le signal. Les analyses fréquentielles permettent de calculer des aspects quantitatifs et qualitatifs. Grâce une transformation de Fourier, on obtient une description de la distribution relative des différentes fréquences présentes dans le signal. Les basses fréquences (*Low Frequency* (LF)) refléteraient l'influence des barorécepteurs sur la FC et seraient médiées majoritairement par l'activité orthosympathique, tout en recevant également

des influences vagues. Les hautes fréquences (*High Frequency* (HF)) sont liées à l'arythmie sinusale respiratoire et correspondent à une influence vagale sur la régulation du rythme cardiaque.² La fiabilité de la VFC est ainsi améliorée lorsque les analyses temporelles et fréquentielles sont interprétées conjointement.⁸ Malgré le fait que certaines études démontrent une fiabilité de certains indices sur des mesures UST, il reste conseillé d'analyser *a minima* les indices temporels sur les 2 dernières minutes d'un signal stable depuis 3 minutes et les indices fréquentiels sur les 4 dernières minutes d'un signal de 5 minutes.¹⁹

INTERPRÉTATION

L'interprétation des valeurs doit être faite avec un recul prononcé tant les facteurs d'influence sont nombreux. Le contexte de récolte doit être précisément renseigné pour une bonne interprétation (âge et sexe du sujet, santé, médicaments, condition physique, position, heure, durée de récolte, repas/boissons préalables, entraînements préalables, rythme et amplitude respiratoires...), et standardisé au maximum pour que les comparaisons intra-individuelles soient valides.²⁰ Par exemple, la limite entre LF et HF fluctue en fonction de la fréquence respiratoire;^{18,21} une respiration lente en dessous de 9 cycles par minute (< 0,15 Hz) augmentant l'énergie des LF, il est parfois nécessaire de déplacer manuellement la borne de 0,15 Hz entre LF et HF. Également, la position de mesure a une importance capitale sur les valeurs. En position couchée, la VFC est principalement médiée par l'arythmie sinusale respiratoire, considérée comme activité parasympathique.²² En position debout, afin de répondre au transfert du sang vers le bas lié à la pesanteur, l'activité orthosympathique augmente pour réguler la pression artérielle (des symptômes vagues peuvent découler d'un manque de régulation dans cette position). Plusieurs articles décrivent des valeurs normatives de VFC avec des enregistrements ST pour des personnes saines. Nous suggérons ainsi, dans le **tableau 2**, une grille d'analyse destinée à une contextualisation rapide et compréhensible d'une mesure afin de se diriger vers les interprétations adaptées. Afin de ne pas arriver à des conclusions erronées,

TABLEAU 1 Principaux paramètres de la VFC

Le tableau indique la signification physiologique de ces paramètres.

bpm: battements par minute; ms: millisecondes; SNA: système nerveux autonome; VFC: variabilité de la fréquence cardiaque.

Domaine temporel

	Unité	Définition en anglais	Définition en français	Signification physiologique
FC moyenne	bpm	Mean heart rate	Fréquence cardiaque moyenne	Peut baisser avec une adaptation favorable à l'entraînement et avec une augmentation de l'activité parasympathique
SDNN	ms	Standard deviation of NN intervals	Déviations standard des valeurs moyennes des intervalles N-N (intervalles inter-battements dont les artefacts ont été enlevés)	SDNN reflète la variabilité globale du sujet
pNN50	%	Percentage of successive R-R intervals that differ by more than 50 ms	Pourcentage d'intervalles R-R successifs différant de plus de 50 ms	Modulé par l'activité parasympathique du SNA
RMSSD	ms	Root mean square of successive R-R interval differences	Racine carrée de la moyenne des différences au carré des intervalles R-R successifs	Représente principalement l'activité du système parasympathique ²⁷ Moins sensible à la fréquence respiratoire, au bruit, ainsi qu'aux variations journalières ³²
LnRMSSD	ms	Natural logarithm of root mean square of successive R-R interval	Logarithme naturel de la racine carrée de la moyenne des différences au carré des intervalles R-R successifs	Sa transformation logarithmique (LnRMSSD) ou sa forme moyennée sur une semaine (LnRMSSDweekly) sont préconisées par certains auteurs. ^{11,32} La transformation logarithmique a pour objectif d'obtenir une distribution normale de la variable ainsi transformée

Les indicateurs RMSSD, LnRMSSD et SDNN donnent une information quantitative sur l'amplitude de la VFC et le volume total d'énergie. Ils n'apportent pas d'information sur l'aspect qualitatif de la balance entre les influences ortho- et parasympathiques.

Domaine fréquentiel

LF	ms ²	Power spectral density of low frequencies	Composantes spectrales de basses fréquences de la variabilité du rythme cardiaque	Phénomène oscillant de 3 à 9 cycles/minute. Refléterait l'influence des barorécepteurs sur la fréquence cardiaque; serait médiée par le système orthosympathique et recevrait des influences vagues Influencée par: <ul style="list-style-type: none"> • L'activité orthosympathique du SNA³³ • La pression artérielle^{1,3} • L'activité du baroréflexe³⁴ Range: 0,04-0,15 Hz
HF	ms ²	Power spectral density of high frequencies	Composantes spectrales de hautes fréquences de la variabilité du rythme cardiaque	Influencée par l'activité parasympathique <ul style="list-style-type: none"> • Correspond à une fréquence ventilatoire de 9 à 24 cycles/minute • Correspond à l'arythmie sinusale respiratoire • Correspond à une influence parasympathique sur le rythme cardiaque Range: 0,15-0,4 Hz
LF/HF ratio	u.a.			Rapport LF/HF: pourrait refléter l'état de la balance orthosympathique/parasympathique dans certaines conditions

Les indicateurs fréquents (LF, HF) donnent une information quantitative (LF+HF) et qualitative (densité du spectre d'énergie). Ils apportent de l'information sur la balance orthosympathique/parasympathique (avec toutes les précautions à considérer dans l'analyse).¹⁻³

les patient-e-s peuvent être adressé-e-s vers des spécialistes formés à la méthode pour un suivi (scientifiques du sport, médecins spécialistes, chercheurs).

VFC ET FATIGUE

L'analyse de la variabilité cardiaque présente un intérêt dans le suivi de la fatigue, s'intégrant dans une approche holistique. État résultant de contraintes physiques et environnementales aboutissant à une diminution des performances physiques et mentales, la fatigue est le plus souvent un état aigu qui affecte le sujet sain, notamment dans le cas de la pratique sportive.²³ Elle a des origines identifiables et est perçue comme normale mais peut devenir pathologique lorsqu'elle devient chronique.

Dans ce dernier cas, son étiologie est multifactorielle et a été présentée dans divers articles, notamment dans le sport.²⁴ Chez le-la sportif-ve, une mauvaise gestion de la charge d'entraînement est fréquemment en cause. En marge du bilan usuel visant à écarter une étiologie médicale à prendre en charge, l'analyse de la VFC permet d'objectiver et caractériser divers états de fatigue dans différentes populations. Une faible activité parasympathique a notamment été corrélée au diagnostic de burnout¹² et également à la fatigue et son intensité chez des patientes survivantes du cancer du sein.²⁵ Chez les sportif-ve-s, trouver l'équilibre adéquat entre l'entraînement, les compétitions et la récupération en plus des autres demandes de la vie de tous les jours est capital pour être performant.²⁶ Les contraintes physiques et mentales induisent des perturbations de certaines fonctions physiologiques (par

TABLEAU 2 Grille d'analyse d'une mesure de VFC

Proposition de grille destinée à une contextualisation rapide et compréhensible d'une mesure afin de se diriger vers les interprétations adaptées.
Durée d'acquisition: sur 24 heures, Short-Term (ST) (environ 5 minutes) ou Ultra-Short-Term (UST) (< 5 minutes).
VFC: variabilité de la fréquence cardiaque.

Indications	
Méthodes	<input type="checkbox"/> UST <input type="checkbox"/> ST <input type="checkbox"/> 24 heures
Âge	
Sexe	<input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> H
Antécédents médicaux	
Plaintes éventuelles	
Traitement médicamenteux	
Type de sport	
Outil de mesure	
Signal interprétable	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non (si non, aucune interprétation)
Heure de la mesure	
Position	<input type="checkbox"/> Couché <input type="checkbox"/> Assis <input type="checkbox"/> Debout
Durée de mesure	
Repas, boissons, entraînements préalables (24 heures)	
Quelle est l'importance de la variabilité?	Regarder les analyses temporelles
<ul style="list-style-type: none"> Quels sont les rythmes sous-jacents? Quelle est leur signification physiologique? Quelle est la puissance de chacun des rythmes sous-jacents? 	Regarder les analyses fréquentielles
Interprétation	<ul style="list-style-type: none"> Se fier à des normes appropriées selon le-la patient-e Fatigue type? Conseils sur stimulation ortho-sympathique/parasymphathique?

TABLEAU 3 Les quatre types de fatigue

Description de quatre types de fatigue proposés dans l'étude de Schmitt et coll., 2015.¹⁰
FC: fréquence cardiaque; LF: Low Frequency - basses fréquences; HF: High Frequency - hautes fréquences; -: valeur abaissée; +: valeur augmentée.

Type	Observations
1. Fatigue (HF- couché, LF- debout)	Baisse de LF et HF et augmentation de la FC dans les deux positions. Il s'agit du cas le plus souvent rencontré
2. Fatigue (LF+ couché, LF- debout)	Augmentation de LF couché, baisse de LF debout et augmentation de la FC debout
3. Fatigue (HF- couché, HF+ debout)	Baisse de HF couché et augmentation de HF debout
4. Fatigue (HF+ couché)	Augmentation de HF et baisse de la FC debout. Ce cas de figure est rare

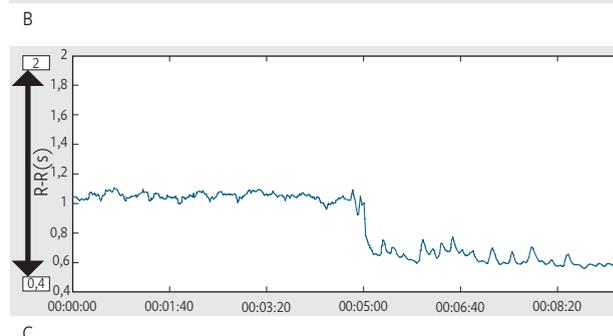
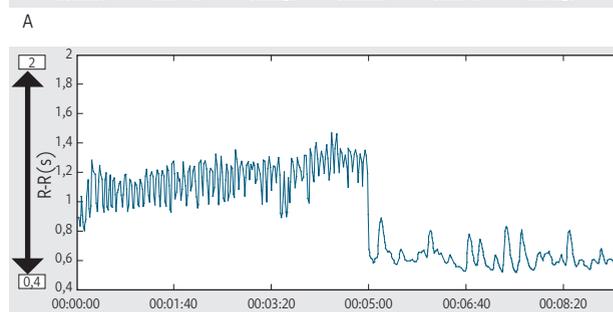
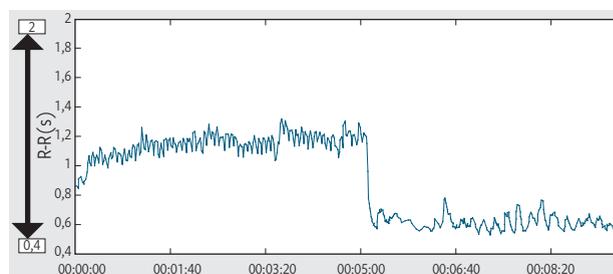
exemple système endocrinien, système immunitaire, SNA) interagissant entre elles et pouvant induire des baisses de performances. Le suivi des indices de VFC apporte ainsi des informations intéressantes pour surveiller l'état de fatigue des athlètes et optimiser la charge d'entraînement, intégrant l'impact des autres stressseurs « invisibles » par le staff médical ou technico-sportif.^{9,27,28}

APPROCHE SYSTÉMIQUE DE LA VFC, TYPES DE FATIGUE ET REMÉDIATIONS

L'utilisation de la VFC dans un suivi clinique doit idéalement tenir compte des attentes pratiques des professionnels: sensibilité au changement, feedback rapide, facile à administrer, faible coût, non fatigant, non invasif, valide et fiable.²⁹ Surtout, elle doit s'intégrer dans une approche systémique de l'accompagnement du-de la sportif-ve. La mesure de VFC renseigne sur l'état actuel de fatigue et sert de réflexion à l'analyse des causes qui ont abouti à cet état, et aux choix de remédiations que l'on peut mettre en place pour l'influencer favorablement. Par exemple, des mesures perturbées chez un-e sportif-ve montrant une charge d'entraînement cohérente et bien tolérée permettent de lancer une discussion et découvrir par exemple des problèmes familiaux ou sentimentaux. Schmitt et coll. ont démontré que ces données peuvent être utilisées pour caractériser différentes typologies de fatigue basées sur

FIG 3 Intervalles R-R chez trois différents types de sportif-ve-s

A. Sportif amateur, 24 ans, sans symptômes, non fatigué. B. Sportive d'élite, 18 ans, sans symptômes, non fatiguée. Amplitude élevée couchée démontrant une haute variabilité et un tonus vagal important dans la partie couchée. C. Sportive amateur, 50 ans, fatiguée, sommeil perturbé. Très faible variabilité couchée liée à un manque d'activité parasymphathique. Debout, FC dérivant légèrement vers le haut au fur et à mesure de l'enregistrement. Stress professionnel et entraînement trop intense.
FC: fréquence cardiaque.



l'évolution de la VFC chez des sportif·ve·s d'élite.¹⁰ Plusieurs états de fatigue distincts ont été identifiés en fonction d'un changement significatif par rapport à la médiane de l'état basal du sujet correspondant à un état sans fatigue (déterminé par un questionnaire de surentraînement)¹⁰ et sont présentés dans le **tableau 3**. Cette étude met également en évidence la pertinence de l'analyse du domaine fréquentiel de la VFC, qui fournit des résultats pour caractériser différents types de fatigue, contrairement au domaine temporel. La typologie de la fatigue permettant de constater indirectement un déséquilibre de la régulation de la FC par le SNA vers le versant para- ou orthosympathique, il s'agit ensuite d'implémenter des moyens stimulant l'une ou l'autre branche du SNA afin d'équilibrer l'influence du SNA sur le rythme cardiaque. Par exemple, l'entraînement physique à intensité légère (c'est-à-dire sous le premier seuil ventilatoire), la cryothérapie ou les massages calmants peuvent stimuler l'activité parasymphatique alors que l'entraînement de type anaérobie (lactique et alactique), l'hypoxie ou la caféine stimulent l'activité orthosympathique. Le clinicien peut alors compléter sa prise en charge avec l'apport de conseils sur différentes remédiations en fonction des résultats de VFC, ainsi que l'entraîneur qui peut orienter au mieux la planification de l'entraînement. Cette nouvelle évaluation des différents types de fatigue basée sur la VFC est désormais implémentée dans une application proposant une interprétation automatique des modifications de VFC (inCORPUS, be.care SA, Lausanne, Suisse) et représente un exemple de solution facilement utilisable en cabinet. Les personnes doivent toutefois se faire accompagner, surtout au début pour, d'une part, garantir la bonne qualité

des mesures et, de l'autre, de faire les interprétations appropriées. La **figure 3** et le **tableau 4** montrent des exemples de courbes de R-R et de valeurs de VFC chez trois types de sportif·ve·s avec leur interprétation. On peut observer les différences entre âge, sexe et niveau d'activité physique.

LIMITATIONS

Il est nécessaire de décrire le contexte de la mesure et l'environnement de la collecte de données. De plus, il y a des limites de variations interindividuelles, notamment en fonction du sexe et de l'âge. Étant très sensible en fonction du contexte, la VFC souffre également d'une reproductibilité parfois médiocre.³⁰ Les différences minimales cliniquement pertinentes doivent encore être décrites par des études rigoureusement menées dans diverses populations afin de faire les bonnes interprétations entre un réel changement pathologique et la variabilité usuelle au jour le jour. Finalement, réduire l'activité parasymphatique aux HF et utiliser le ratio LF/HF comme balance sympatho-vagale semblent être un raccourci car les contributions exactes des branches orthosympathique et parasymphatique dans la VFC sont controversées et restent sujettes à débat.³¹

CONCLUSION

La VFC est utilisée depuis de nombreuses années dans le domaine médical et calcule une multitude de paramètres

TABLEAU 4 Exemple de valeurs de trois cas cliniques avec leur interprétation

Mesures réalisées le matin au réveil, à jeun, en conditions calmes. 5 minutes couché suivies de 5 minutes debout. Analyses sur les 4 dernières minutes du signal avec Kubios HRV Premium (Kubios Oy, Finland).

bpm: battements par minute; FC: fréquence cardiaque; RMSSD: Root Mean Square Of Successive R-R Interval Differences – racine carrée de la moyenne des différences au carré des intervalles R-R successifs; LF: Low Frequency – basses fréquences; HF: High Frequency – hautes fréquences; LF/HF: ratio basses fréquences sur hautes fréquences.

		Sportif amateur (escalade) en bonne santé, 24 ans	Sportive d'élite (cyclisme), 18 ans	Sportive amateur (trail) 50 ans, avec fatigue
Couché	FC (bpm)	51,5	51,4	57,3
	RMSSD (ms)	56,2	123,6	10,0
	LF (ms ²)	659	2230	89,6
	HF (ms ²)	1065	7075	26,1
	LF/HF	0,62	0,32	3,42
Debout	FC (bpm)	98,8	97,9	97,8
	RMSSD (ms)	18,4	21,5	7,8
	LF (ms ²)	1789	4105,3	591,6
	HF (ms ²)	126	147,7	8,3
	LF/HF	14,1	27,8	71,5
Interprétation		<ul style="list-style-type: none"> Valeurs dans les normes Maintien ou augmentation de la charge d'entraînement 	<ul style="list-style-type: none"> Valeurs dans les normes Maintien ou augmentation de la charge d'entraînement 	<ul style="list-style-type: none"> Couché: RMSSD bas, puissance LF+HF basse, dominante LF couché, signe de fatigue de type 1 Debout: FC haute, dérive de la FC au fur et à mesure de la mesure, signe de fatigue de type 2 Stimulation de l'activité parasymphatique conseillée (d'abord travailler sur la réponse couché)

parfois difficilement interprétables. L'exposition dans cet article des bonnes pratiques d'acquisition et d'interprétation ainsi que des paramètres les plus utiles à utiliser dans la vie réelle permet d'y voir plus clair dans cette méthode prometteuse. L'analyse de la VFC renseigne sur la régulation du cœur par le SNA et est influencée par de nombreux facteurs. Elle permet d'informer sur l'état de fatigue/stress des patient-e-s ou sportif-ve-s, aidant ainsi à réaliser les meilleurs choix dans la prise en charge (adaptation de la charge d'entraînement, nutrition, méthodes de récupération, thérapies complémentaires, etc.). La typologie de la fatigue permet d'obtenir des détails sur les temps de récupération et les remédiations appropriées pouvant être recommandés. Cette méthode peut ainsi être un outil objectif dans l'approche holistique prônée par tant de professionnel-le-s travaillant dans l'accompagnement des sportif-ve-s.

Conflit d'intérêts: Laurent Schmitt et Grégoire Millet font partie des membres fondateurs de l'entreprise be.care SA commercialisant l'application inCORPUS,

proposant une solution de suivi de la fatigue par VFC. Les autres auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

IMPLICATIONS PRATIQUES

- Dans le suivi de la fatigue, l'analyse de variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) peut être proposée car elle apporte des renseignements objectifs
- De nombreux outils proposent des analyses de VFC, mais leurs interprétations présentent plusieurs limites et bonnes pratiques à connaître pour une utilisation adéquate
- Le clinicien peut s'aider d'une grille de lecture pour interpréter la mesure dans son contexte (**tableau 2**)
- Le clinicien peut se référer à des spécialistes pour implémenter ou interpréter un suivi de VFC

- 1 Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, et al. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 1981;213:220-2.
- 2 **ESC/NASPE. 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.
- 3 Pomeranz B, Macaulay RJ, Caudill MA, et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol* 1985;248:H151-3.
- 4 Thayer JF, Hansen AL, Saus-Rose E, Johnsen BH. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Ann Behav Med* 2009;37:141-53.
- 5 Silvani A, Calandra-Buonaura G, Dampney R, Cortelli P. Brain-heart interactions: physiology and clinical implications. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci* 2016;374:20150181.
- 6 Hon EH, Lee ST. Electronic evaluation of the fetal heart rate. VIII. Patterns preceding fetal death, further observations. *Am J Obstet Gynecol* 1963;87:814-26.
- 7 Wolf M, Varigos G, Hunt D, Sloman JG. Sinus arrhythmia in acute myocardial infarction. *Med J Aust* 1978;2:52-3.
- 8 *Schmitt L, Regnard J, Millet GP. Monitoring Fatigue Status with HRV Measures in Elite Athletes: An Avenue Beyond RMSSD? *Front Physiol* 2015;6:343.
- 9 Schmitt L, Regnard J, Desmarests M, et al. Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PloS One* 2013;8:e71588.
- 10 *Schmitt L, Regnard J, Parmentier AL, et al. Typology of "Fatigue" by Heart Rate Variability Analysis in Elite Nordic-skiers. *Int J Sports Med* 2015;36:999-1007.
- 11 Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. Heart rate variability and training intensity distribution in elite rowers. *Int J Sports Physiol Perform* 2014;9:1026-32.
- 12 Lennartsson AK, Jonsdottir I, Sjors A. Low heart rate variability in patients with clinical burnout. *Int J Psychophysiol* 2016;110:171-8.
- 13 Ernst G. Heart-Rate Variability-More than Heart Beats? *Front Public Health* 2017;5:240.
- 14 Beauchaine TP, Thayer JF. Heart rate variability as a transdiagnostic biomarker of psychopathology. *Int J Psychophysiol* 2015;98:338-50.
- 15 Senn N, Santiago-Delefosse, M. Objets connectés de santé : patients et médecins déconnectés ? *Rev Med Suisse* 2018;14:1-2.
- 16 Giles D, Draper N, Neil W. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *Eur J Appl Physiol* 2016;116:563-71.
- 17 Moraes JL, Rocha MX, Vasconcelos GG, Vasconcelos Filho JE, de Albuquerque VHC, et al. Advances in Photoplethysmography Signal Analysis for Biomedical Applications. *Sensors* 2018;18:1894.
- 18 **Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health* 2017;5:258.
- 19 Bourdillon N, Schmitt L, Yazdani S, Vesin JM, Millet GP. Minimal Window Duration for Accurate HRV Recording in Athletes. *Front Neurosci* 2017;11:456.
- 20 *Heathers JAJ. Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain HRV. *Front Physiol* 2014;5:177.
- 21 Hirsch JA, Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am J Physiol* 1981;241:H620-9.
- 22 Yasuma F, Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm? *Chest* 2004;125:683-90.
- 23 Budgett R. Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *Br J Sports Med* 1998;32:107-10.
- 24 Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, et al. Recovery in Soccer: Part II-Recovery Strategies. *Sports Med* 2013;43:9-22.
- 25 Crosswell AD, Lockwood KG, Ganz PA, Bower JE. Low heart rate variability and cancer-related fatigue in breast cancer survivors. *Psychoneuroendocrinology* 2014;45:58-66.
- 26 *Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, et al. Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *Int J Sports Physiol Perform* 2018;13:240-5.
- 27 Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med* 2013;43:773-81.
- 28 **Thorpe RT, Atkinson G, Drust B, Gregson W. Monitoring Fatigue Status in Elite Team-Sport Athletes: Implications for Practice. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12(Suppl.2):S227-34.
- 29 Starling LT, Lambert MI. Monitoring Rugby Players for Fitness and Fatigue: What Do Coaches Want? *Int J Sports Physiol Perform* 2018;13:777-82.
- 30 Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA. The reliability of short-term measurements of heart rate variability. *Int J Cardiol* 2005;103:238-47.
- 31 Billman GE. Heart rate variability – a historical perspective. *Front Physiol* 2011;2:86.
- 32 Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 2014;5:73.
- 33 Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 1991;84:482-92.
- 34 Goldstein DS, Benito O, Park M-Y, Shabari Y. Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp Physiol* 2011;96:1255-61.

* à lire
** à lire absolutement