

Variabilité sinusale (HRV)

Stéphane Doutreleau

UM Sports Santé Prévention
CHU Grenoble Alpes

Définition

- La variabilité sinusale est la variation physiologique de l'activité autonome du nœud sinusal
- Heart rate variability ou *HRV*
- Paramètre « vieux », toujours prometteur mais jamais utilisé !! En dehors de la recherche

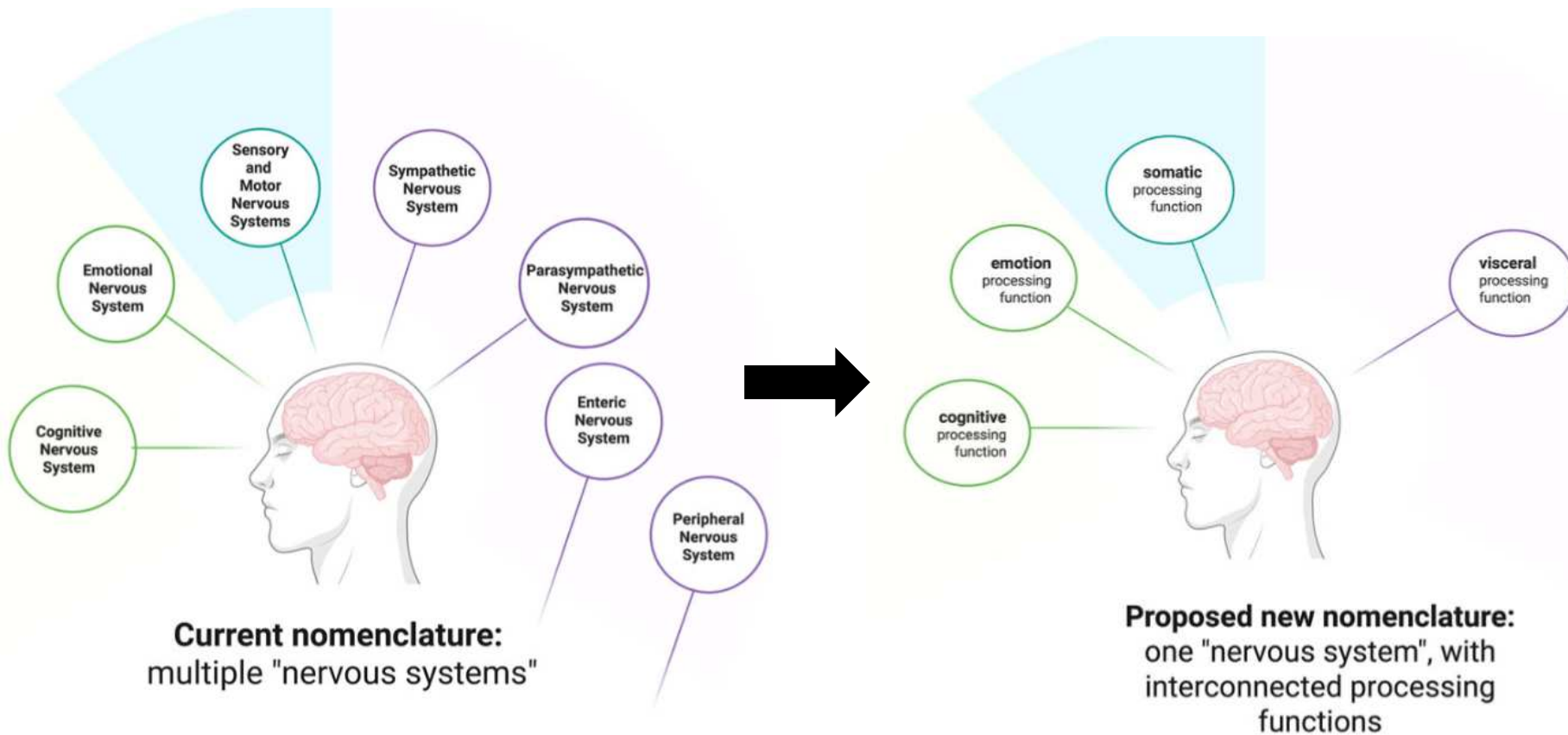
Pourquoi faut-il être variable ?

- Parce que la demande énergétique interne est variable
 - Parce que les demandes externes sont variables
 - Parce que les comportements sont variables (flexibilité)
- La capacité permanente à pouvoir s'adapter à toutes les situations est primordiale +++
- Plus on est variable, mieux c'est !!!
- « Et si la santé n'était pas l'absence de symptômes, mais la capacité à osciller et à revenir ? »

Comment est organisé cette variabilité ?

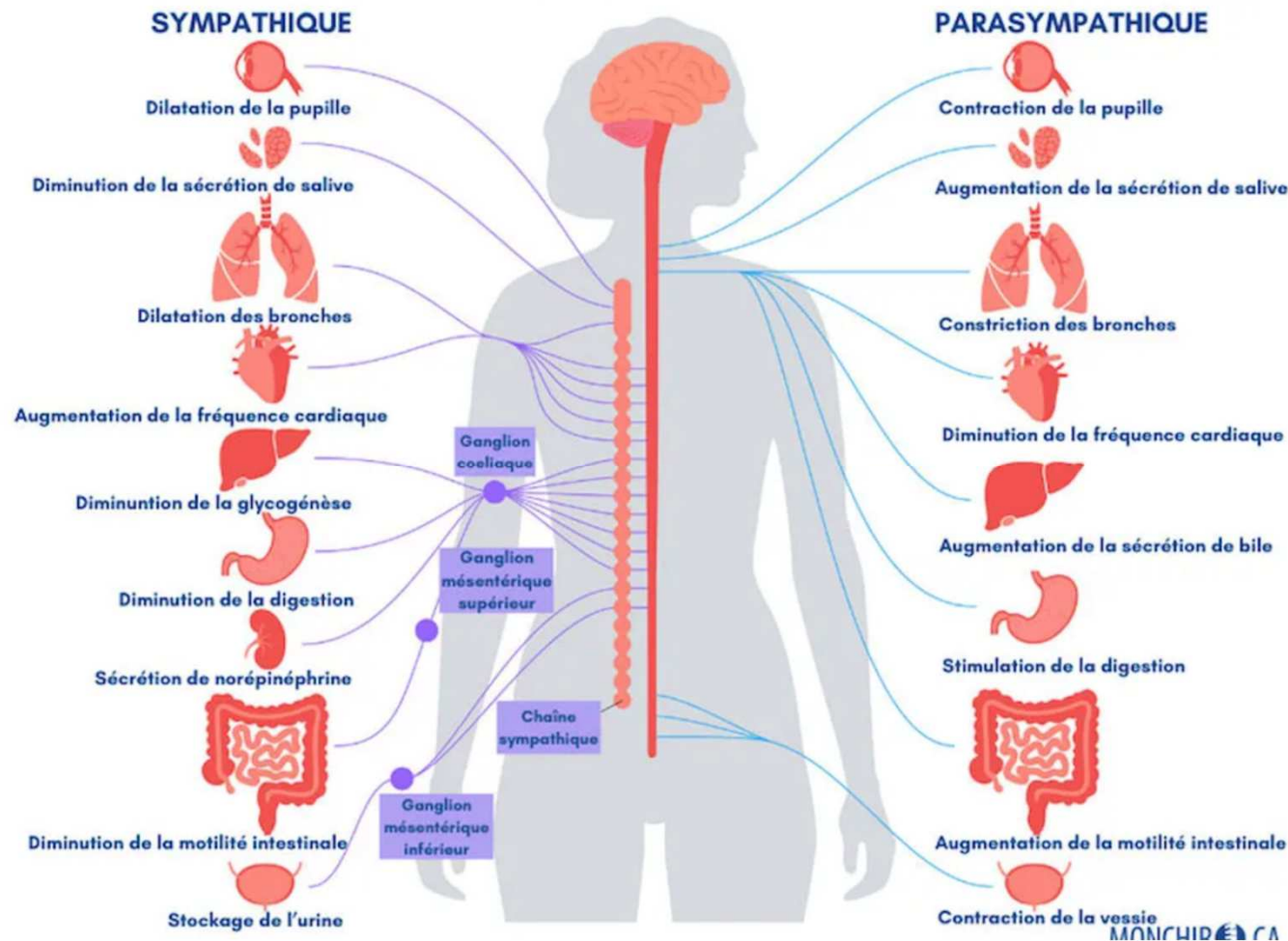
- L'origine du SNA dérive d'analyses phylogénétiques – il apparaît avec la mise en place de l'ectoderme
- Pas de SNA chez les éponges
- Apparition chez les cnidaires (méduses, coraux etc...) mais pas vraiment de centralisation (SNC)
- Puis apparition d'une organisation centralisée (Nerve ring), de ganglions périphériques puis centraux
- Tous les vertébrés ont un SNA

Organisation du SNA chez l'homme

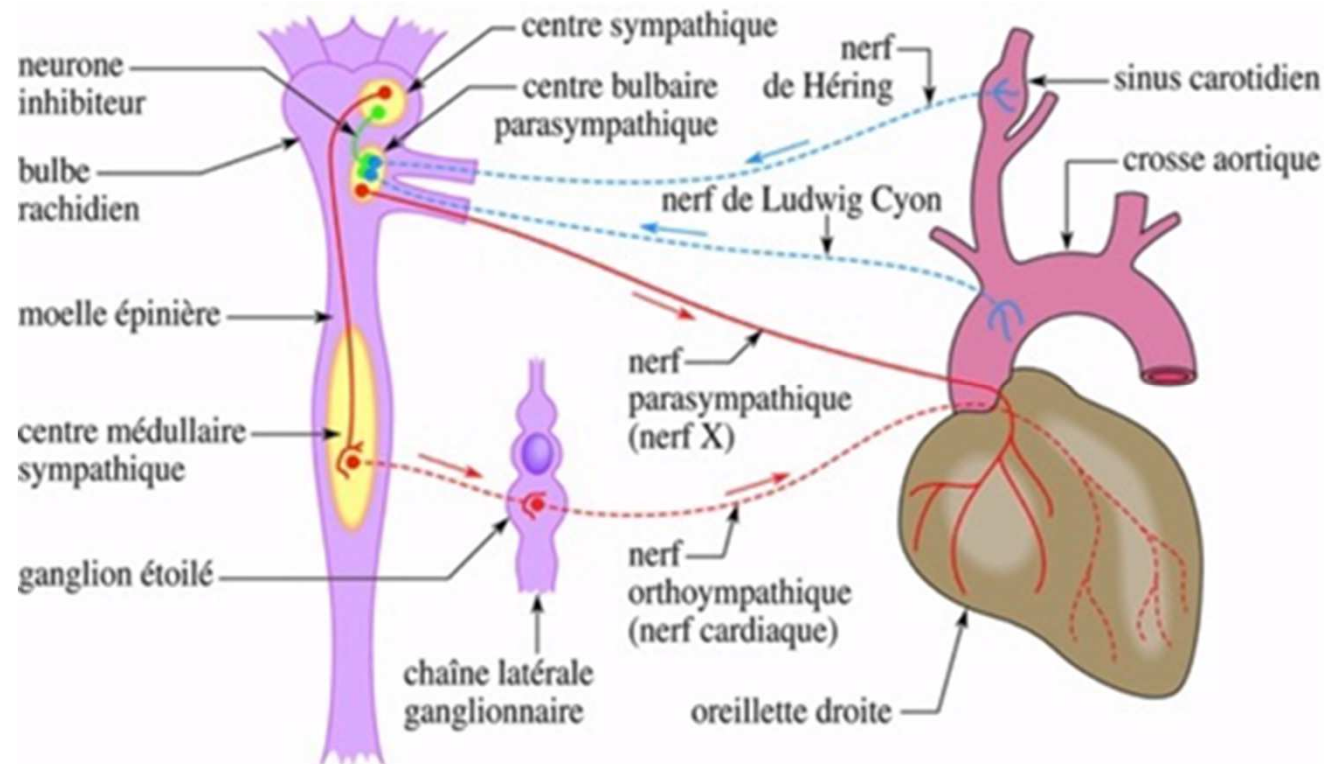


Organisation du SNA chez l'homme

C4-T4



Organisation du SNA cardiaque chez l'homme



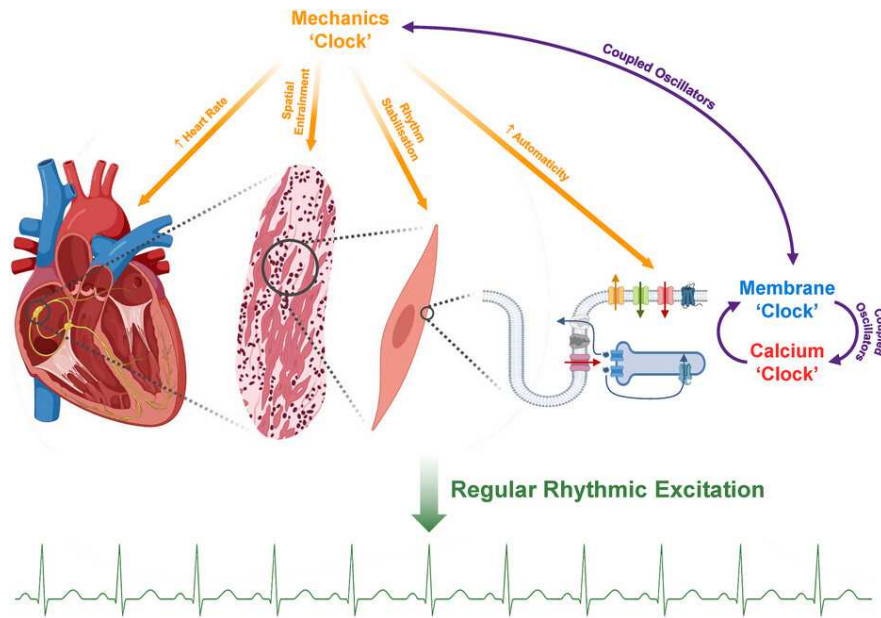
T1-T4

Le système nerveux autonome

- Le SNA doit permettre un fonctionnement des organes pour répondre aux besoins de l'organisme
- Le SNA est très versatile – réponse en temps très variable selon l'organe
- Le SNA est adaptable
- Pour le système CV cela veut dire :
 - Une adéquation entre le débit cardiaque et les besoins **ET**
 - Une régulation de la pression artérielle (baroréflexe) **ET**
 - Un contrôle métabolique (PaO_2 , pH etc..) (chémoréflexe)...

Variabilité sinusale - autocontrôle

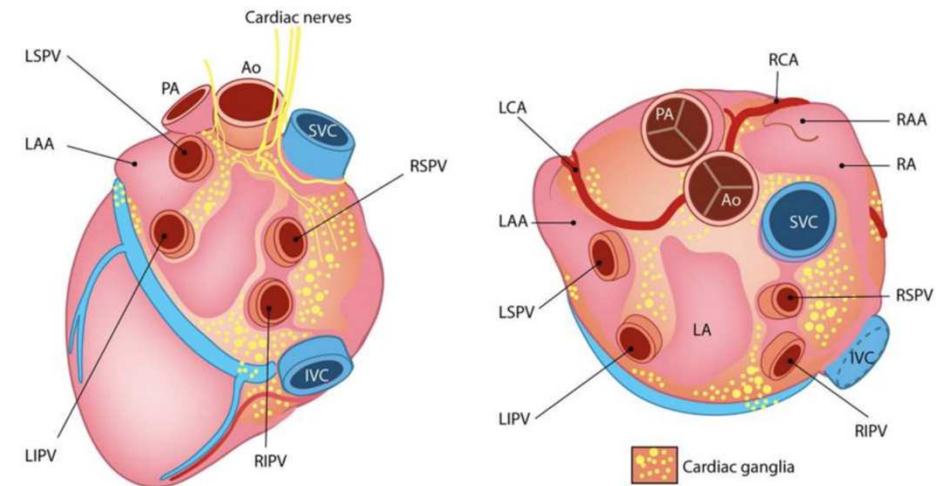
Activité électrique intrinsèque spontanée



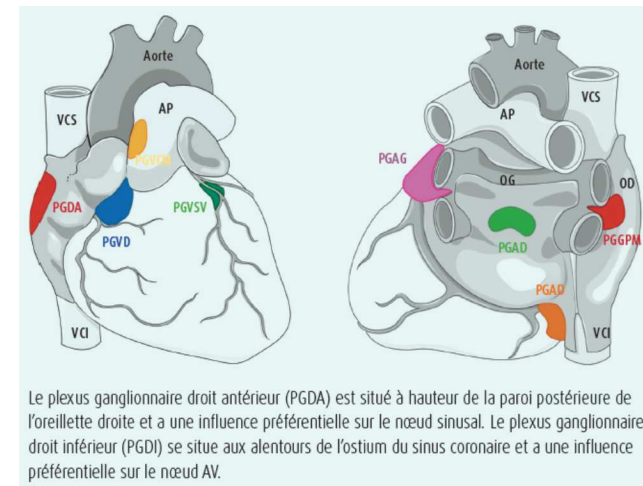
McDonald E, *JAP* 2026

The Journal of
Physiology

Imagerie spécifique du SNA
(I123-MIBG)



Scalco A, *Fontiers in Physiology* 2021



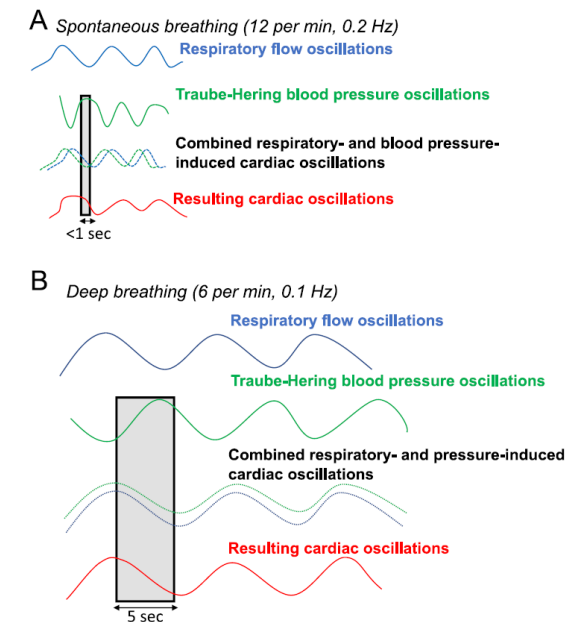
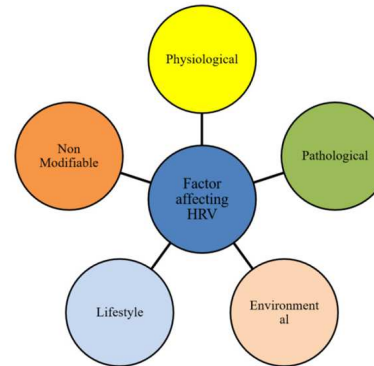
Le plexus ganglionnaire droit antérieur (PGDA) est situé à hauteur de la paroi postérieure de l'oreillette droite et a une influence préférentielle sur le nœud sinusal. Le plexus ganglionnaire droit inférieur (PGDI) se situe aux alentours de l'ostium du sinus coronaire et a une influence préférentielle sur le nœud AV.

Giannino G, *Biology* 2024

Facteurs modulant la variabilité

- Très nombreux ++++
- Nécessité d'une standardisation

- Liste non exhaustive !
 - Variation inter-individuelle
 - sexe
 - Température ambiante
 - Veille/sommeil – nuit/jour
 - Respiration
 - Fatigue
 - Repas/à jeun
 - Composition du repas
 - État de remplissage vessie
 - Bruit, luminosité
 - Douleur
 - volémie
 - Stress, émotions etc...
 - Troubles du rythme
 - Traitements médicamenteux
 - Entrainement
 - Maladie chronique etc...

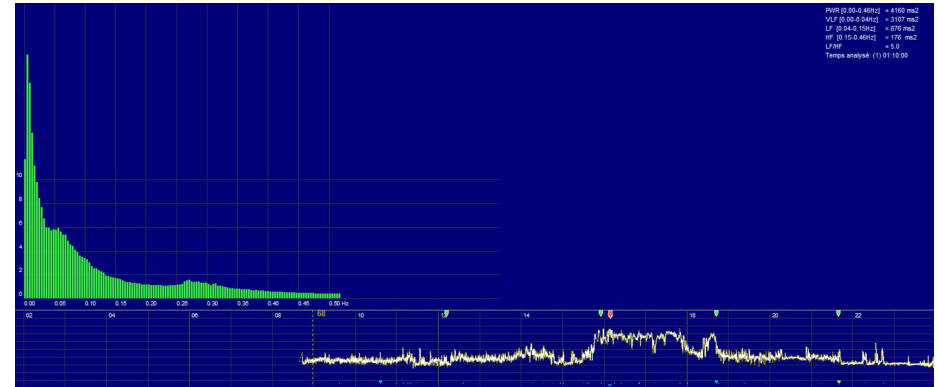


Outils de mesure

- ECG, Holter ECG

Avantages

Contrôle de la qualité du signal
tri des QRS



Inconvénients

Long, fastidieux

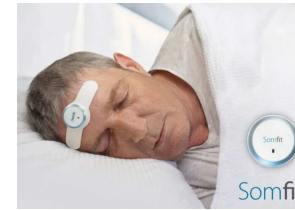
Peu accessible

Nécessité d'un logiciel spécifique ?

Quelle période de mesure ?



Outils de mesure



- Moniteurs de Fc +++

Facile +++

Qualité très variable

Analyse souvent intégrée ++ (facile)

Article

A Validation of Six Wearable Devices for Estimating Sleep, Heart Rate and Heart Rate Variability in Healthy Adults

Dean J. Miller , Charli Sargent  and Gregory D. Roach 

Variable	Apple Watch	Garmin	Polar	Oura (Gen.2)	WHOOP (3.0) *	Somfit *
Bias:						
Heart Rate (bpm)	0.5 ± 2.1	5.0 ± 12.8	-1.1 ± 2.2	0.1 ± 4.5	-0.3 ± 1.0	2.2 ± 6.5
HRV (RMSSD, ms)	-9.6 ± 28.1	-22.4 ± 46.9	-8.7 ± 38.0	-10.2 ± 39.4	-4.5 ± 3.9	-20.5 ± 37.2
Absolute Bias:						
Heart Rate (bpm)	1.5 ± 1.5	5.4 ± 12.6	1.5 ± 1.9	1.8 ± 4.1	0.7 ± 0.8	2.6 ± 6.3
HRV (RMSSD, ms)	22.5 ± 19.2	33.1 ± 39.9	18.8 ± 34.0	18.9 ± 35.9	4.7 ± 3.6	24.0 ± 35.0
Limits of Agreement:						
Heart Rate (bpm)	±4.0	±25.0	±4.4	±8.8	±1.9	±12.7
HRV (RMSSD, ms)	±55.2	±92.0	±74.5	±77.2	±7.6	±72.9
Intraclass Correlations:						
Heart Rate (bpm)	0.96	0.41	0.93	0.85	0.99	0.65
HRV (RMSSD, ms)	0.67	0.24	0.65	0.63	0.99	0.69

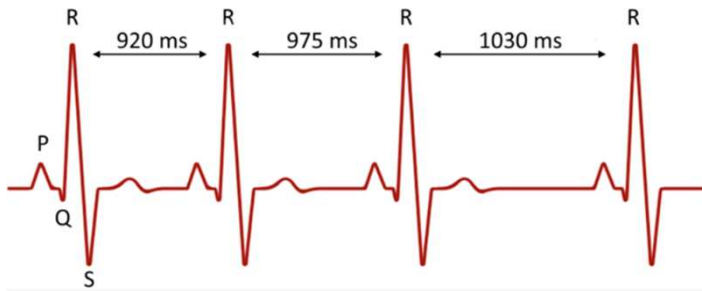
Note: * Denotes raw data that were provided by the manufacturer. Absolute bias = mean of the absolute value for bias between devices and PSG (i.e., distance from zero bias).

Apple watch S6, Garmin Forerunner 245, Polar Vanage V, Oura Ring Generation 2, Whoope 3.0

Principes de mesure : repos

INDICES TEMPORELS

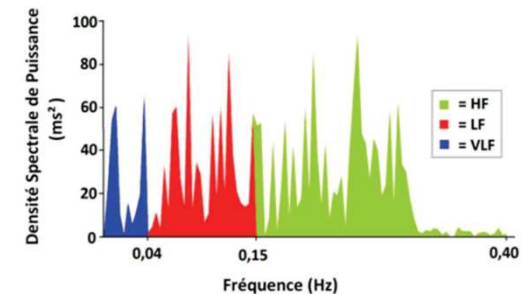
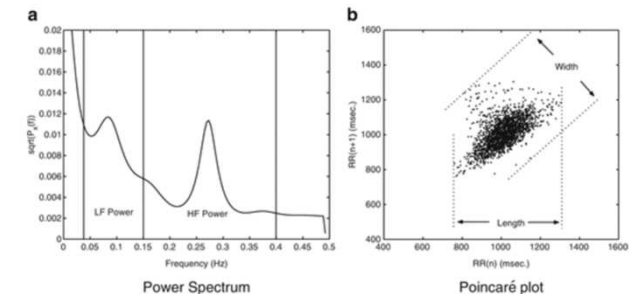
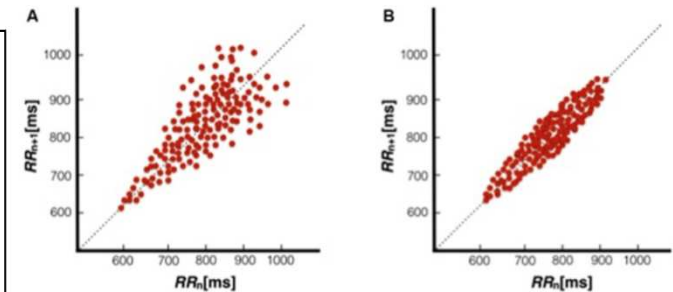
- Fc moyenne ou RR moyen
- SDNN (ms)
- RMSDD (ms) - parasympathique
- point carré plot



standardisation TEST ++
moment de la journée
repas
entraînement / position
toilettes etc....

INDICES FREQUENCIALES

- Puissance totale
- VLF
- LF - sympathique
- HF - parasympathique
- HF/LF
- $(HF = LF)/Fc$

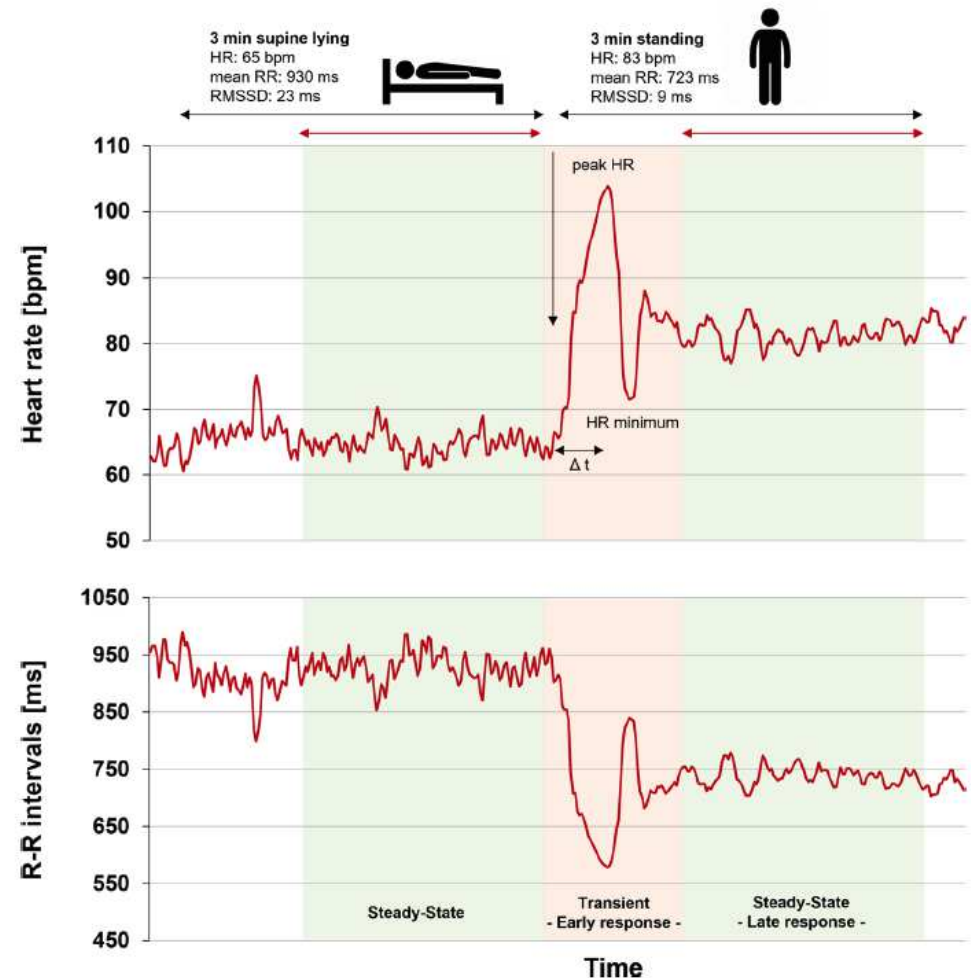
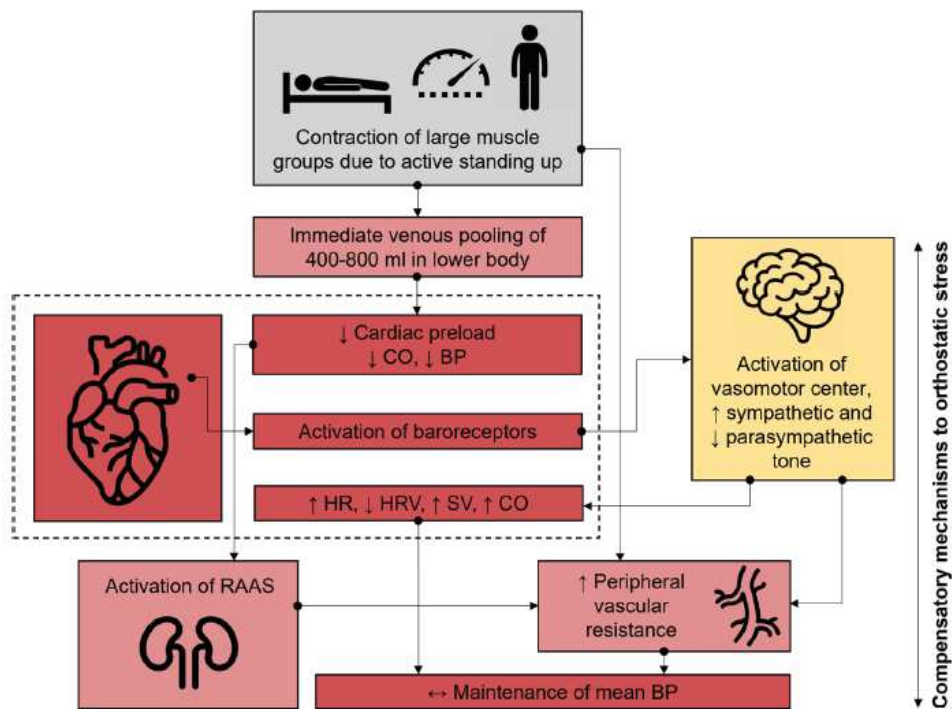


Principes de mesure : le challenge orthostatique

Orthostatic testing for heart rate and heart rate variability monitoring in exercise science and practice

Eur J App Physiol 2024

Thomas Gronwald^{1,2} · Marcelle Schaffarczyk¹ · Olaf Hoos³



Valeurs « normales »

Variable	Sex	Age group (y)	Percentile					Regression analysis with age as a covariable: r	P value for the sex-related difference
			5th	25th	50th	75th	95th		
SDNN (ms)	Male	20–30	32.36	43.78	56.54	68.27	92.55	-0.758^* ($r^2 = 0.258$)	< .001
		30–40	29.92	39.66	48.98	56.35	70.21		
		40–50	24.91	33.02	41.52	49.61	68.80		
		50–60	18.83	26.64	33.64	41.72	55.76		
		50–60	18.83	26.64	33.64	41.72	55.76		
	Female	20–30	27.89	40.83	46.34	56.56	77.24	-0.658^* ($r^2 = 0.288$)	
		30–40	26.07	34.53	42.39	53.52	66.42		
		40–50	20.17	28.78	33.71	40.57	52.92		
		50–60	18.43	24.98	29.47	36.05	48.92		
		50–60	18.43	24.98	29.47	36.05	48.92		
RMSSD (ms)	Male	20–30	24.84	34.43	48.13	69.63	100.02	-0.798^* ($r^2 = 0.181$)	.014
		30–40	21.97	29.87	40.71	49.56	74.33		
		40–50	18.25	24.46	33.39	44.12	66.75		
		50–60	14.66	22.77	28.77	35.12	56.18		
		50–60	14.66	22.77	28.77	35.12	56.18		
	Female	20–30	22.37	35.12	42.66	58.58	89.81	-0.717^* ($r^2 = 0.216$)	
		30–40	20.16	28.03	36.50	50.06	71.14		
		40–50	15.48	22.90	30.00	36.30	53.27		
		50–60	15.94	20.81	25.80	33.07	54.46		
		50–60	15.94	20.81	25.80	33.07	54.46		
pNN50 (%)	Male	20–30	4.76	10.95	19.09	37.58	41.58	-0.485^* ($r^2 = 0.231$)	.018
		30–40	3.19	7.19	13.23	20.59	30.81		
		40–50	1.31	3.51	10.27	17.05	30.10		
		50–60	0.62	2.80	4.86	9.49	24.13		
		50–60	0.62	2.80	4.86	9.49	24.13		
	Female	20–30	3.37	10.89	15.06	25.67	37.56	0.442^* ($r^2 = 0.268$)	
		30–40	1.75	6.41	11.43	19.78	31.50		
		40–50	0.79	3.18	6.69	12.29	21.94		
		50–60	0.63	2.24	4.19	8.03	17.72		
		50–60	0.63	2.24	4.19	8.03	17.72		
SDANN (ms)	Male	20–30	95.06	125.61	149.06	181.15	232.19	-1.336^* ($r^2 = 0.122$)	< .001
		30–40	94.91	116.45	136.84	162.51	221.53		
		40–50	77.64	102.13	121.79	146.22	184.38		
		50–60	66.24	91.52	118.64	142.74	172.74		
		50–60	66.24	91.52	118.64	142.74	172.74		
	Female	20–30	84.03	111.63	132.85	150.66	213.85	-0.894^* ($r^2 = 0.094$)	
		30–40	69.93	95.64	116.19	142.39	182.48		
		40–50	72.92	92.00	109.97	135.48	168.91		
		50–60	67.74	84.93	105.16	131.65	163.92		
		50–60	67.74	84.93	105.16	131.65	163.92		

HRV = heart rate variability; pNN50 = percentage of consecutive NN intervals that deviate from one another by more than 50 ms; RMSSD = root mean square of successive differences of NN intervals; SDANN = standard deviation of the average of all consecutive 5-minute NN intervals; SDNN = standard deviation of NN intervals.

Variable	Sex	Age group (y)	Percentile					Regression analysis with age as a covariable: r	P value for the sex-related difference
			5th	25th	50th	75th	95th		
LFnu (–)	Male	20–30	38.51	60.91	68.06	77.08	83.59	0.233^* ($r^2 = 0.053$)	< .001
		30–40	58.40	66.00	75.46	79.85	87.58		
		40–50	57.49	68.87	77.07	82.15	89.27		
		50–60	56.25	68.35	75.49	80.95	86.54		
		50–60	56.25	68.35	75.49	80.95	86.54		
	Female	20–30	42.57	53.89	61.48	69.18	78.38	0.303^* ($r^2 = 0.089$)	
		30–40	45.42	60.35	67.81	74.97	81.38		
		40–50	45.99	66.69	72.26	78.78	84.48		
		50–60	49.74	62.05	72.06	78.14	82.87		
		50–60	49.74	62.05	72.06	78.14	82.87		
HFnu (–)	Male	20–30	16.41	22.92	31.94	39.09	61.49	-0.233^* ($r^2 = 0.053$)	< .001
		30–40	12.42	20.15	24.54	34.00	41.60		
		40–50	10.73	17.85	22.85	31.13	42.51		
		50–60	13.46	19.05	24.51	31.65	43.75		
		50–60	13.46	19.05	24.51	31.65	43.75		
	Female	20–30	21.62	30.82	38.52	46.11	57.43	-0.303^* ($r^2 = 0.089$)	
		30–40	18.62	25.03	32.19	39.65	54.58		
		40–50	15.52	21.22	27.74	33.31	54.01		
		50–60	17.13	21.86	27.94	37.95	50.26		
		50–60	17.13	21.86	27.94	37.95	50.26		
LF/HF (–)	Male	20–30	0.63	1.56	2.13	3.36	5.10	0.033^* ($r^2 = 0.038$)	< .001
		30–40	1.40	1.94	3.08	3.96	7.06		
		40–50	1.35	2.21	3.36	4.60	8.32		
		50–60	1.29	2.16	3.08	4.25	6.44		
		50–60	1.29	2.16	3.08	4.25	6.44		
	Female	20–30	0.74	1.17	1.60	2.25	3.63	0.032^* ($r^2 = 0.079$)	
		30–40	0.83	1.52	2.11	3.00	4.37		
		40–50	0.85	2.00	2.60	3.71	5.44		
		50–60	0.99	1.64	2.58	3.57	4.84		
		50–60	0.99	1.64	2.58	3.57	4.84		

HF = high frequency; HFnu = high-frequency power normalized unit; HRV = heart rate variability; LF = low frequency; LFnu = low-frequency power normalized unit.

Reference values for time- and frequency-domain heart rate variability measures

Stefan Sammito, Dr Med,^{*†} Irina Böckelmann, Prof Dr Med[†]

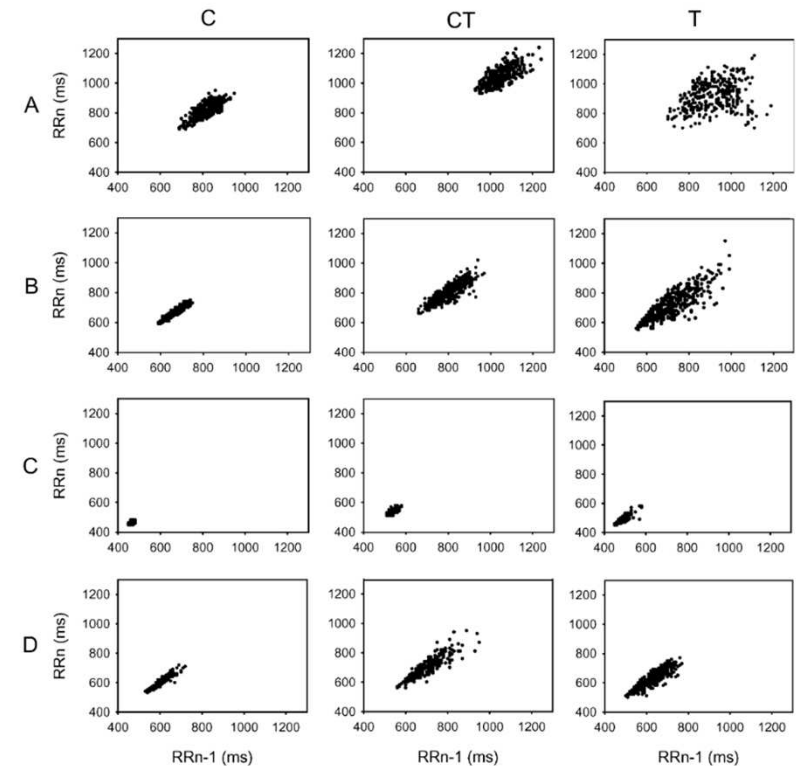
Heart Rhythm 2016

variabilité sinusale : quel intérêt ?

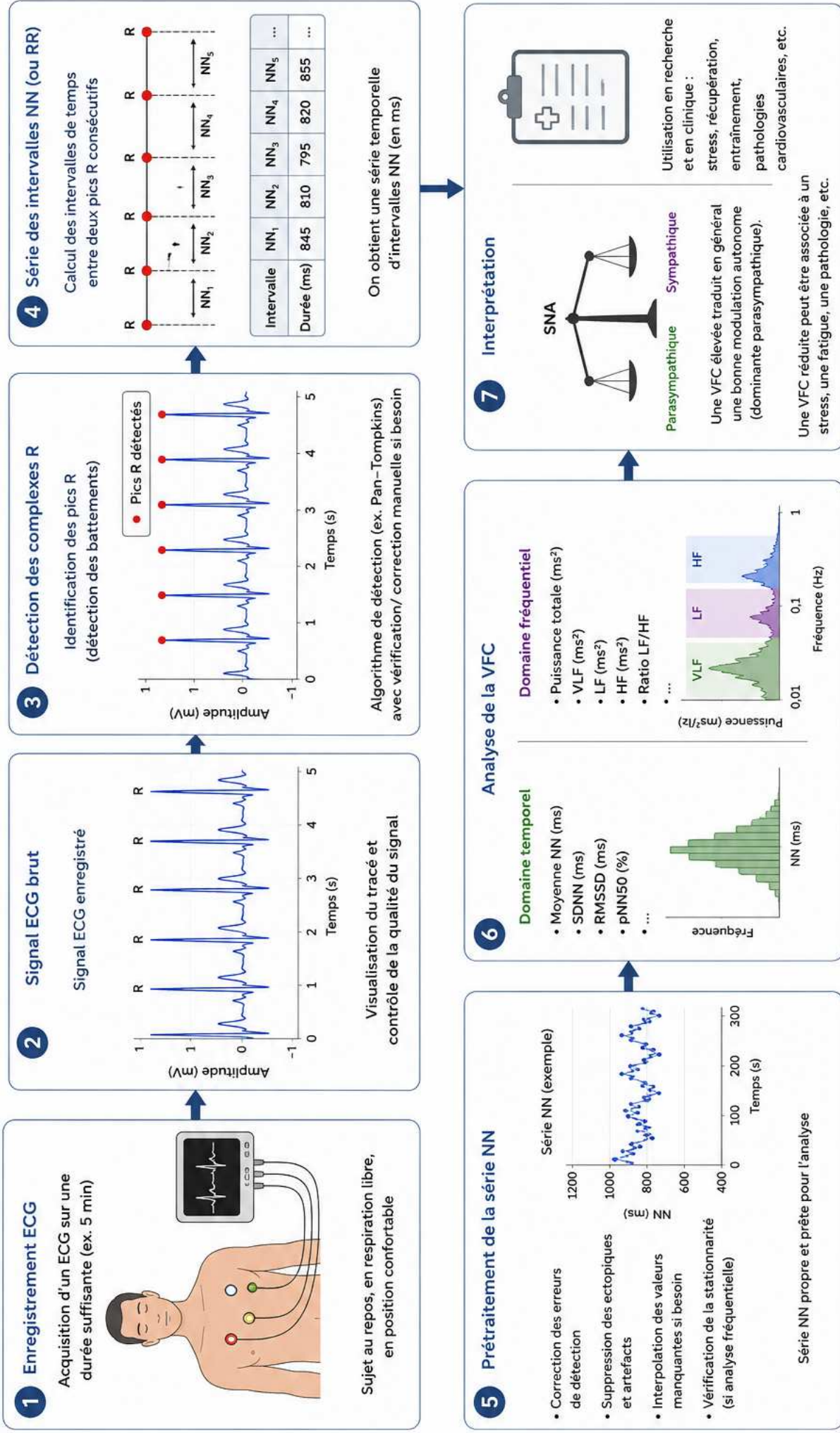
- beaucoup de mesures +++
[3 à 4 mesures / semaine]
- suivi de l'entraînement
- effets de l'entraînement
= adaptation des charges
- détection précoce de la fatigue ?
du surentraînement ?

- bonne variabilité

- baisse variabilité



Étapes de mesure de la variabilité sinusale (VFC) chez l'homme



VFC : variabilité de la fréquence cardiaque ; ECG : électrocardiogramme ; NN (ou RR) : intervalles entre deux battements sinusalux ; SNA : système nerveux autonome.

Mesure de la variabilité sinusale (VFC) chez un sportif avec un cardiofréquencemètre

1

ACQUISITION

Le sportif porte son cardiofréquencemètre (montre/ceinture) qui enregistre les intervalles R-R (ou NN)



Enregistrement pendant une période adaptée : repos (5 min), après échauffement ou pendant un retour au calme.

2

EXPORT DES DONNÉES

Récupération des données brutes depuis la montre / l'application

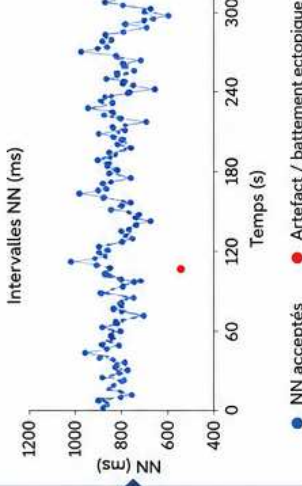


Fichiers au format .fit, .tcx ou .csv contenant les intervalles R-R (ou NN).

3

EXTRACTION ET NETTOYAGE

Extraction de la série des intervalles NN (en ms) et vérification de la qualité

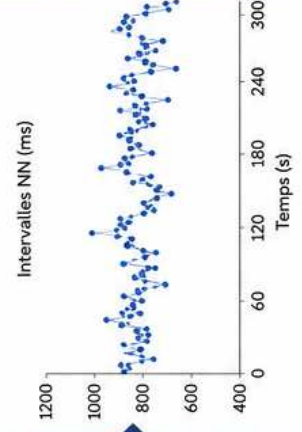


Suppression ou correction des artefacts, des valeurs aberrantes et des pauses non physiologiques.

4

SÉRIE NN PROPRE

Série temporelle des intervalles NN prête pour l'analyse



Série stationnaire (autant que possible) sur la période sélectionnée (ex. 5 min).

5

ANALYSE DE LA VFC

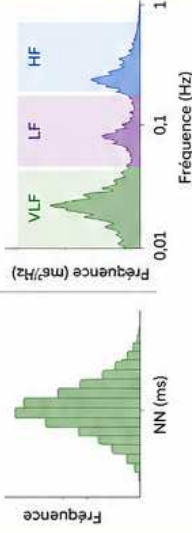
Calcul des indicateurs temporels et fréquentiels

Domaine temporel

- Moyenne NN (ms)
- SDNN (ms)
- RMSSD (ms)
- pNN50 (%)
- ...

Domaine fréquentiel

- Puissance totale (ms^2)
- VLF (ms^2)
- LF (ms^2)
- HF (ms^2)
- Ratio LF/HF
- ...



6

INTERPRÉTATION

Évaluation de l'équilibre du système nerveux autonome et de l'état de récupération



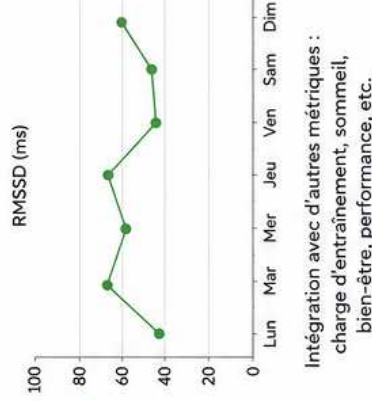
- Repères généraux (au repos)
- VFC élevée (ex. RMSSD haut, HF haut) → bonne récupération, bonne forme, dominance parasympathique
 - VFC basse (ex. RMSSD bas, HF bas) → fatigue, stress, charge d'entraînement élevée ou récupération insuffisante

Les valeurs de référence varient selon l'individu.

7

SUIVI DANS LE TEMPS

Suivi de la VFC au quotidien ou au fil des séances



Intégration avec d'autres métriques : charge d'entraînement, sommeil, bien-être, performance, etc.

8

APPLICATION PRATIQUE

Ajustement de l'entraînement et prévention du surentraînement



Points clés

✓ Utiliser idéalement une ceinture cardio pour plus de précision.

✓ Mesurer toujours dans des conditions comparables (heure, posture, durée).

✓ Privilégier des mesures au repos (5 min allongé ou assis).

✓ La tendance individuelle est plus importante que la valeur absolue.

VFC = Variabilité de la fréquence cardiaque
NN (ou R-R) = intervalles entre deux battements sinusoïdaux

Conclusion

- La variabilité est fondamentale
 - Variabilité basale ET en réponse à une déstabilisation du système
- C'est un **marqueur** de bonne santé
 - Cardiovasculaire
 - Globale (mortalité)
- Mais son utilisation doit être :
 - Standardisée
 - Contrôlée
 - Autoréférencée (le sujet est son propre témoin)
- Peu utilisé en clinique
- Utilisé en recherche
- Utilisé dans le monde de l'entraînement

