Médecine du Sport
www.chuv.ch/sport

UNIL | Université de Lausanne

PEDRO LEAL – AUTONNE 2017

STAGE EXPLORATION FONCTIONNELLE

MASTER EN SCIENCES DU SPORT

LA RECUPERATION DE LA FREQUENCE CARDIAQUE APRES L'EFFORT

Définition : pour fréquence cardiaque (*heart rate* ou HR) il s'entend le nombre des battements cardiaques (du cœur) par unité des temps (généralement 1 minute) [1]. La récupération de la fréquence cardiaque (*heart rate recovery* ou HRR) après l'effort est donc la diminution de la fréquence cardiaque qui se met en place après un effort donné (généralement physique).

Signification physiologique : La HR est influencée par le système nerveux autonome, responsable pour les fonctions non volontaires. Dans la partie efférente, il est divisé en système nerveux orthosympathique et parasympathique [2]. La réactivation vagale (restauration du tonus parasympathique) est responsable de la HRR [3]. Les caractéristiques physiologiques du processus de la HRR ont été examinées chez des adultes sains, des athlètes et des patients avec insuffisance chronique cardiaque. Les résultats ont montré que pour les trois groupes, la réactivation vagale fut le principal déterminant de la baisse de la fréquence cardiaque sur les premières 30 secondes de récupération. Ce mécanisme est démontré comme indépendant de l'âge et intensité d'exercice [4]. Comme l'illustre la figure ci-contre, à la HR maximale, l'activité parasympathique est résiduelle voire nulle tandis que l'activité sympathique est maximale. Après l'effort, on observe une diminution accrue due à la restauration du tonus parasympathique et une deuxième courbe qui est due à la diminution du tonus sympathique [5].

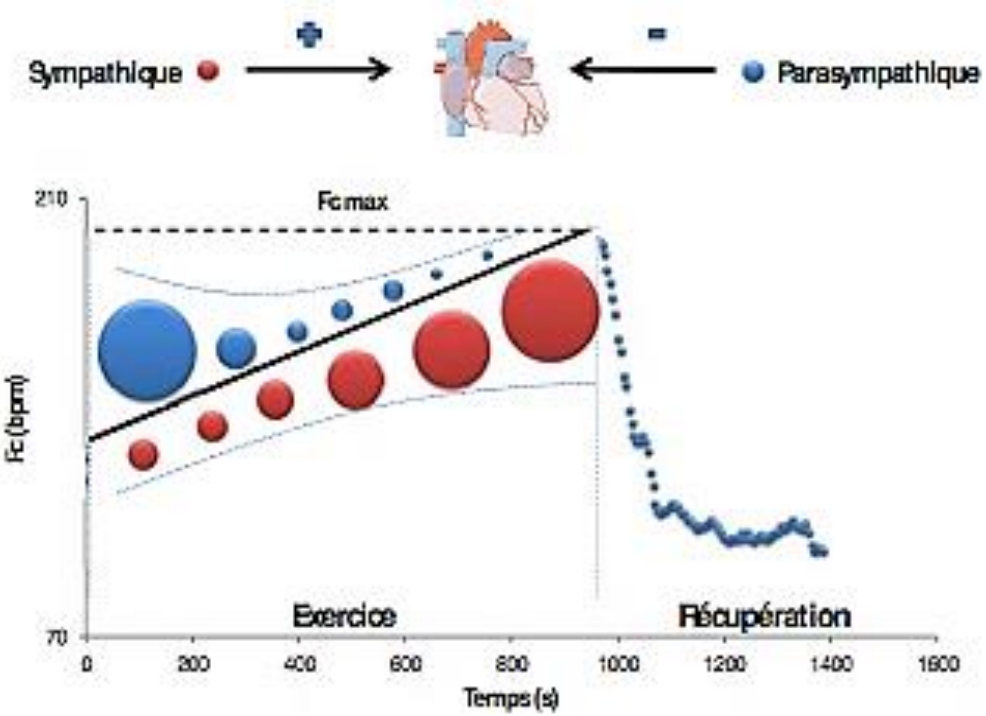

Figure 1. Prédominance des systèmes sympathique et parasympathique pendant et après l'effort.

HRR et le sport

Est-ce que la HRR est liée à la capacité de performance ? L'idée d'avoir une cinétique rapide de récupération de la fréquence cardiaque après l'effort est généralement et communément reconnue comme un signe de bonne condition physique. Qu'est-ce que nous dit la science ? Les études transversales montrent que la HRR est plus rapide chez les personnes entraînées que chez les personnes en bonne santé non entraînées [6]. La plupart des études longitudinales, soutiennent la capacité de la HRR à quantifier les différences de l'état de l'entraînement entre individus sains, entraînés et non entraînés. En outre, les études longitudinales ont observé une augmentation correspondante entre la HRR et la puissance produite [6]. Lorsque des états de fatigue ou de fatigue extrême sont exclus, la HRR s'améliore avec un meilleur état de conditionnement physique, reste inchangé si l'état de conditionnement ne change pas et diminue avec une diminution du l'état d'entraînement [6]. Donc, on peut dire que la HRR peut être un indicateur de la condition physique qui est généralement exprimé en $\dot{V}O_{2max}$. Cela est fortement corrélée à l'état d'entraînement dans une population générale mais moins sensible pour les athlètes d'haut niveau [6]. La HRR, si bien standardisée, a le potentiel pour devenir un outil prometteur pour détecter les changements d'état de la forme physique en athlètes et des personnes moins entrainés. [6].

HRR et la santé

Les études sur le fonctionnement du cœur ont toujours eu l'objectif de saisir des connaissances nécessaires à la prévention de la mortalité et à la promotion de la santé.

Des études de l'activité électrique, de la fréquence cardiaque ou plus récemment de la variabilité de la fréquence cardiaque (*heart rate variability* ou HRV) ont été menées pour investiguer ces questions. Le taux de décroissance de la fréquence cardiaque et la période de temps de récupération après un exercice modéré ou intense sont des indicateurs utilisés pour la santé cardiovasculaire [7]. Aussi, l'évaluation de la fonction parasympathique cardiovasculaire est importante parce que plusieurs études cliniques ont fait état d'une relation négative entre un niveau élevé d'activité parasympathique et la progression de la maladie cardiovasculaire [8]. L'étude que l'image ci-contre illustre est relative à une population de 2 428 sujets apparemment sains et montre la tendance de mortalité selon la HRR pendant la première minute [3]. Il se vérifie une mortalité plus élevée chez ceux qui une HRR faible. En plus, il existe une forte corrélation entre la baisse de capacité physique et l'apparition des valeurs anormales de la HRR [3]. Les auteurs ont défini les 12 battements par minute après la fin de l'exercice comme le seuil pour déterminer une valeur basse de la HRR. Est-ce que HRR peut être utilisé comme un outil clinique ? Oui, en effet, une valeur basse de la HRR après l'exercice, que fut montré comme un marqueur de la diminution de l'activité vagal, est un puissant et indépendant prédicateur de mortalité. Ce marqueur est simple à calculer d'après des protocoles existants et peut être valide pour une routine clinique [3].

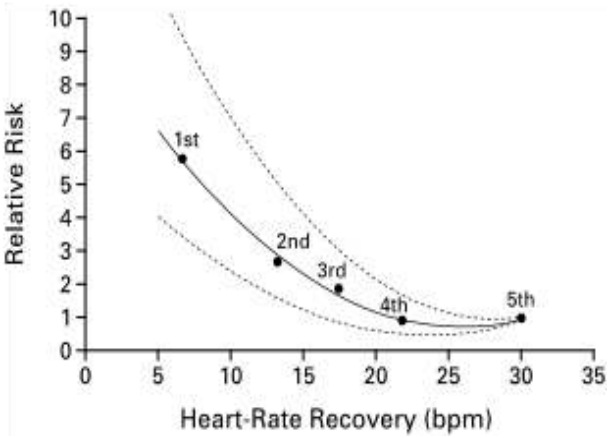

Figure 2. Estimations du risque relatif des décès selon la HRR.

HRR – Applications pratiques

	ICC	SEM
τ (s)	0,71	17,54
Δ Fc 1min	0,58	10,26
Δ Fc 2min	0,62	10,25
Δ Fc 3min	0,67	7,35

Figure 3. Indice de reproductibilité relative et absolue d'entre différentes méthodes pour calculer la HRR.

Comment **mesurer** la HRR ? Quelle mesure a la **reproductibilité** la plus forte ? Dans la recherche scientifique il existe des différentes méthodes pour déterminer la cinétique de la HRR [9]. La reproductibilité de ces méthodes est devenue importante et a été étudiée. La figure ci-contre montre les résultats de l'une de ces études. Dans la figure, l'ICC s'agit d'un coefficient de corrélation en mesurant la reproductibilité relative tandis que le SEM mesure la reproductibilité absolue. Le *Tau* (constant de temps – le temps (s) nécessaire pour attendre 63 % du gain de la récupération de la fréquence cardiaque de repos) est, en l'occurrence, la mesure utilisée qui présente une reproductibilité plus importante [10]. En somme, plus petite est la valeur du *Tau*, plus grande est la valeur de la HRR. La ΔFc 1min, par exemple, est la différence absolue entre la fréquence cardiaque mesurée immédiatement à la fin de l'exercice et la fréquence cardiaque mesurée après 1 minute de récupération passive [10]. L'autre mesure beaucoup utilisée est la T30, représentant la droite de régression entre le logarithme naturel de la fréquence cardiaque et le temps écoulé de la 10e à la 40e seconde après l'exercice [5].

Dans **l'entraînement**, l'utilisation des cardiofréquencemètres est de plus en plus généralisée et facilite beaucoup les mesures faites sur le terrain. Plusieurs tests ont été créés pour mesurer et analyser et évaluer l'HRR dans le sport. D'entre eux, le test de Ruffier et Dickson est utilisé davantage, ainsi que les indices qui lui sont associés [11]. Ce test est facilement réalisable, reproductible dès qu'une méthode bien standardisé soit utilisée. Le faible coût de réalisation du test de Ruffier-Dickson en fait un test de vulgarisation dans le cadre d'un bilan de forme physique.

Le test est très simple : Après être resté allongé environ cinq minutes au calme ;

1. Prendre son pouls (P1) ;

2. Réaliser 30 flexions complètes sur les jambes, bras tendus et pieds bien à plat sur le sol, en 45 secondes et à allure régulière. Il est à noter qu'une fréquence de montées et descentes trop rapides ou trop lentes modifierait la valeur finale du test. Prendre son pouls juste après (P2) ;

3. Se rallonger et reprendre son pouls une minute après la fin de l'exercice (P3).

Deux indices ont été créés, l'indice de Ruffier ((P1 + P2 + P3) - 200 / 10) et l'indice de Dickson (((P2-70) + 2(P3-P1)) /10) qui sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Indices de Ruffier et de Dickson. Tableau adapté de http://www.irbms.com/test-de-ruffier-dickson/.

Indice de Ruffier	Indice de Dickson
Indice < 0 = très bonne adaptation à l'effort	Indice < 0 = excellent
0 < indice < 5 = bonne adaptation à l'effort	0 < indice < 2 = très bon
5 < indice < 10 = adaptation à l'effort moyenne	2 < indice < 4 = bon
10 < indice < 15 = adaptation à l'effort insuffisante	4 < indice < 6 = moyen
15 < indice = mauvaise adaptation à l'effort	6 < indice < 8 = faible
	8 < indice < 10 = très faible
	10 < indice = mauvais

Est-ce que le type de récupération, **active ou passive**, joue un rôle important sur la HRR ? La récupération active est le fait de faire de l'exercice à basse intensité pendant la récupération, tandis que la récupération passive est le fait de rester au repos pendant cette période. Les études montrent que le type de récupération choisi ne change pas de manière significative la HRR [12]. L'activité du frein vagal n'aura pas des différences entre une récupération active et passive [13]. Même si le type de récupération n'affecte pas la HRR, aujourd'hui, il est scientifiquement acceptable que la récupération active entre les exercices de courte [14], moyenne et longue durée [15] a des effets positifs sur la performance par rapport à la récupération passive.

Est-ce que la position en récupération, **debout ou allongée**, change la HRR ? Le profil de la courbe de la HRR est la même pour les deux situations, c'est-à-dire, une rapide diminution de la HR dans la première phase et une diminution beaucoup moins prononcée lors de la deuxième phase. La moyenne de récupération de la HR est significativement plus basse en position allongée par rapport à la position debout. En outre, le débit d'éjection systolique (SV) après l'effort dans la position debout diminue graduellement tandis que lors de la position allongée le SV augmente sensiblement à un niveau similaire à celui de repos avant l'exercice. Les niveaux du débit cardiaque ($\dot{Q}$) et de la résistance vasculaire périphérique (TPR) diminuent graduellement jusqu'aux niveaux d'avant effort à chaque position respective. Finalement, la pression artérielle est maintenue relativement constante à travers des mécanismes de compensation associés entre eux, tels que la HR, (SV), $\dot{Q}$ et TPR pendant la récupération dans les deux positions [16].

Est-ce qu'il existe des différences entre, **le tapis et l'ergocycle**, pour la HRR ? Le tapis et l'ergocycle sont les deux outils plus utilisés en *testing* de la performance dans les laboratoires de physiologie. Soit pour des gens en bonne santé soit pour des gens pathologies cardio-pulmonaires, la HRR après une minute est plus prononcée après un effort sur ergocycle que sur le tapis. Donc, la HRR après une minute est dépendante du mode de l'exercice comme la $\dot{V}O_2$. Les résultats de la HRR après deux et trois minutes ne présentent pas des différences significatives [17].

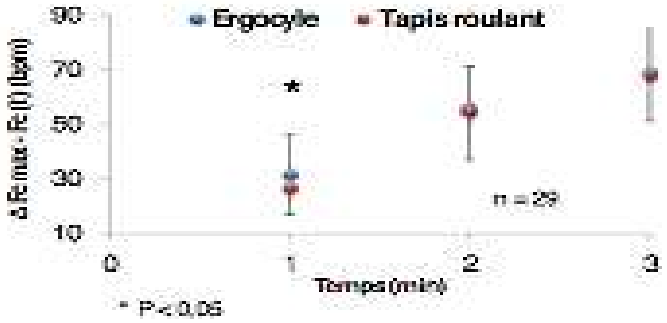

Figure 4. HRR en Ergocycle et en tapis roulant.

Est-ce que le type d'exercice, **répétition des sprints (RS)**, **exercice continu modéré (MC)**, et **exercice intermittent (HI)** modèle la HRR ? Peu des travaux ont été menés dans cette thématique. Ainsi, les résultats doivent être pris avec précaution. Buchheit et al. (2007) ont utilisé trois mesures de HRR : T30 (récupération de la partie rapide entre le 10e et 40e seconde), HRR60s (différence absolue de la HR entre la fin de l'exercice et le 60e seconde) et HRR_T (constant de temps des premières 10 minutes après l'exercice en utilisant un algorithme matemathique qui ajust la HRR à une courbe de décroissance exponenciel). Les résultats montrent que les indices de réactivation parasympathique HRR_{60s} et T30 n'ont pas des différences significatives entre RS et HI. Par contre, ils sont significativement inférieurs aux résultats trouvés après le MC [18]. Selon les données la réactivation parasympathique est fortement altérée après l'exercice de RS que ce semble être liée à la participation du processus anaerobie dans ce genre d'efforts. [18]. Donc, en se basant sur cet etude nous pouvons croire que la décroissance de la HR imediatement après l'effort va être moins prononcée lors que nous faissons exercices courtes à haut intensité par rapport à des exercices de longue durée à baisse intensité.

Comment varie le HRR avec d'autres facteurs associés, tels que **l'âge, sexe, l'indice de masse corporelle** (*Body mass index* ou BMI) **et $\dot{V}O_{2max}$** ? Les travaux scientifiques de référence montrent une tendance de faible corrélation entre HRR et l'âge ainsi qu'avec la $\dot{V}$O2max [19]. L'effet du sexe est en ce moment controversé [19] tandis que la HRR est inversement corrélée avec le BMI [20].

HRR ou HRV

Quelle est la mesure plus appropriée à utiliser dans chaque situation ? Beaucoup d'études en variabilité de la fréquence cardiaque (*heart rate variability* ou HRV) ont été menées récemment. Selon la recherche scientifique, il y a des thématiques pour lesquelles est conseillé d'utiliser la HRV et d'autres que la HRR devra être prise davantage. La **HRV** doit être préférentiellement utilisée comme facteur de prédiction de risque de mortalité et morbidité [21], comme suivi de charge d'entrainement en corrélation avec la $\dot{V}O_2max$ [22], comme suivi de l'effet d'un entrainement aérobie [23] et comme marqueur de la fatigue [24]. Par contre la **HRR** doit davantage être utilisée comme indice d'amélioration de la performance [25] et comme marqueur du statut d'entrainement [22].

HRR - Conclusion

De nos jours, l'utilisation de la HRR est recommandée comme un outil pour surveiller l'état d'entrainement des athlètes de haut niveau ainsi que des sujets moins entrainés. La HRR peut encore être utilisée pour optimiser les programmes individuels d'entrainement [6]. En conclusion, que ce soit la HRR ou la HRV, il faut savoir que ce sont des marqueurs provenant des battements du cœur et qu'ils sont en cela très sensibles, moyennement reproductibles et donc à interpréter avec une énorme précaution. Il sera donc, toujours préférable de les prendre pendant un intervalle de temps assez grand afin de pouvoir saisir un profil de HRR de l'athlète et ensuite d'analyser les possibles variations avec beaucoup plus de connaissance.

BIBLIOGRAPHIE

1 - Jean-Claude Orsini, Jean Pellet, *Introduction biologique à la psychologie*. Rosny, Editions Bréal, 2005, 552 pages.

2 - Daanen, H. A., Lamberts, R. P., Kallen, V. L., Jin, A., & Van Meeteren, N. L. (2012). A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *International journal of sports physiology and performance*, *7*(3), 251-260.

3 - Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. New England Journal of Medicine, 341(18), 1351-1357.

4 - Imai, K., Sato, H., Hori, M., Kusuoka, H., Ozaki, H., Yokoyama, H., ... & Kamada, T. (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, *24*(6), 1529-1535.

5 - Perini, R., Orizio, C., Comandè, A., Castellano, M., Beschi, M., & Veicsteinas, A. (1989). Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *58*(8), 879-883.

6 - Daanen, H. A., Lamberts, R. P., Kallen, V. L., Jin, A., & Van Meeteren, N. L. (2012). A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *International journal of sports physiology and performance*, *7*(3), 251-260.

7 - Chorbajian, T. (1971). Normographic approach for the estimation of heart rate recovery time after exercise. *Journal of applied physiology*, *31*(6), 962-964.

8 - Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *293*(1), H8-H10.

9 - Bosquet, L., Gamelin, F. X., & Berthoin, S. (2008). Reliability of postexercise heart rate recovery. *International journal of sports medicine*, *29*(03), 238-243.

10 - Dupuy, O., Mekary, S., Berryman, N., Bherer, L., Audiffren, M., & Bosquet, L. (2012). Reliability of heart rate measures used to assess post-exercise parasympathetic reactivation. *Clinical physiology and functional imaging*, *32*(4), 296-304.

11 - Dickson, J. (1950). Utilisation de l'indice cardiaque de Ruffier dans le contrÔle médico-sportif. *Med. Educ. Phys. Sport*, *2*, 65.

12 - Takahashi, T., Okada, A., Saitoh, T., Hayano, J., & Miyamoto, Y. (2000). Difference in human cardiovascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. *European journal of applied physiology*, *81*(3), 233-239.

13 - Takahashi, T., & Miyamoto, Y. (1998). Influence of light physical activity on cardiac responses during recovery from exercise in humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *77*(4), 305-311.

14 - Connolly, D. A., Brennan, K. M., & Lauzon, C. D. (2003). Effects of active versus passive recovery on power output during repeated bouts of short term, high intensity exercise. *Journal of sports science & medicine*, *2*(2), 47.

15 - Signorile, J. F., Tremblay, L. M., & Ingalls, C. (1993). The effects of active and passive recovery on short-term, high intensity power output. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *18*(1), 31-42.

16 - Takahashi, T., Okada, A., Saitoh, T., Hayano, J., & Miyamoto, Y. (2000). Difference in human cardiovascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. *European journal of applied physiology*, *81*(3), 233-239.

17 – Maeder, M. T., Ammann, P., Rickli, H., & Brunner-La Rocca, H. P. (2009). Impact of the exercise mode on heart rate recovery after maximal exercise. *European journal of applied physiology*, *105*(2), 247-255.

18 – Buchheit, M., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *293*(1), H133-H141.

19 – Arena, R., Arrowood, J. A., Fei, D., Shelar, S., Helm, S., & Kraft, K. A. (2010). The influence of sex on the relationship between heart rate recovery and other cardiovascular risk factors in apparently healthy subjects. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *20*(2), 291-297.

20 – Jouven, X., Empana, J. P., Schwartz, P. J., Desnos, M., Courbon, D., & Ducimetière, P. (2005). Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *New England Journal of Medicine*, *352*(19), 1951-1958.

21 – Mølgaard, H., Sørensen, K. E., & Bjerregaard, P. (1991). Circadian variation and influence of risk factors on heart rate variability in healthy subjects. *The American journal of cardiology*, *68*(8), 777-784.

22 – Buchheit, M., & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *291*(1), H451-H458.

23 – Bosquet, L., Gamelin, F. X., & Berthoin, S. (2007). Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *European journal of applied physiology*, *100*(3), 363-369.

24 – Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., & Barthélémy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine and science in sports and exercise*, *34*(10), 1660-1666.

25 – Buchheit, M., Millet, G. P., Parisy, A., Pourchez, S., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2008). Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. Medicine & Science in Sports & Exercise, 40(2), 362-371.

26 - http://www.irbms.com/test-de-ruffier-dickson/ – vu le 29 juillet 2017.