

# Prédiction de la sur-consommation d'Oxygène post exercice physique par la méthode de mesure du rythme cardiaque

Document écrit par First Beat Technologies LTD ( traduit par Jean-François Dutrey)

La version pdf contient les schémas [ICI](#)

Résumé : Ce document a été rédigé pour effectuer une revue de détail de la méthode et des résultats empiriques d'une méthode de mesure indirecte l'EPOC (Excès de consommation d'oxygène post-exercice qui sera toujours mentionné dans la suite du document par l'acronyme EPOC) développé par Firstbeat Technologies Ltd. Certaines parties de ce document peuvent avoir été publiés ailleurs et sont référencées en fin du présent document.

## Introduction :

Ce document décrit une méthode de mesure de la sur-consommation d'oxygène post- exercice physique. Cette méthode de mesure est basée sur la mesure du rythme cardiaque. L'EPOC est définie comme étant la sur consommation d'oxygène de l'organisme en période de récupération par rapport à la consommation d'oxygène de l'organisme au repos. La méthode de prévision de l'EPOC a été développée pour fournir une mesure physiologique pour adapter la charge d'entraînement.

### Charge d'entraînement :

Il est difficile de déterminer la charge d'entraînement optimale. Une dépense physique intense va amener une perturbation dans l'hémostasie du corps qui, après récupération, améliorera la condition physique (Ex. Brooks & Fahey, 1984; Åstrand & Rodahl 198-). Un entraînement à trop faible intensité n'amènera pas d'amélioration de la condition physique. Mais à trop forte intensité, il peut à la longue aboutir au sur-entraînement. Il est donc important de mesurer la charge d'entraînement.

Les méthodes employées dans l'évaluation de la charge d'entraînement peuvent être globalement qualifiées à la fois de subjectives et physiologiques. Les mesures subjectives sont faciles à réaliser mais ne reflètent pas toujours les réponses physiologiques de l'organisme et plus particulièrement ses demandes de récupération. Les mesures classiques physiologiques (Mesures de la VO<sub>2</sub>, du rythme cardiaque, du taux de lactates) donnent une image instantanée au moment de l'exercice et non sur sa longueur ou sur son effet cumulatif. Il existe également des mesures de la charge d'entraînement comme les TRIMPS. Mais n'ayant pas de bases physiologiques, les résultats peuvent parfois être difficiles à interpréter.

L'EPOC est une mesure physiologique (quantité d'oxygène consommé en excès post-exercice et mesurée en litres ou en ml/kg) qui indique la demande de récupération de l'organisme et les variations d'homéostasie, conséquence de la dépense physique. La mesure directe de l'EPOC n'est possible qu'en effectuant l'analyse des gaz rejetés avec des matériels de laboratoire. De fait, cela rend cette mesure chère, consommatrice de temps et peu pratique au quotidien.

L'absence de méthode facile à utiliser, basée sur la physiologie de la charge d'entraînement nous a amené à développer une méthodologie d'évaluation indirecte de l'EPOC basée sur des mesures du rythme cardiaque.

### L'EPOC en sciences de l'exercice :

La 1<sup>ère</sup> observation d'un repos post-exercice à rythme métabolique élevé a été faite en 1910 par Benoit et Carpenter et a ensuite été étudiée en tant que dette d'oxygène (Hill et Lupton, 1923). Le nom actuel d'EPOC a été utilisé non seulement pour qualifier le 'remboursement' durant la phase de récupération mais aussi à la fois pour prendre en compte la perturbation générale du métabolisme du repos (Gaesser&Brooks 1984, Gore&Withers 1990) et pour refléter la perturbation de l'homéostasie de repos (Brehm&Gutin, 1986) : La raison des excès de consommation d'oxygène après effort (EPOC) est la perturbation générale de l'homéostasie déclenchée par l'effort (Brooks&Fahey, 1984).

L'EPOC reflète les exigences du corps après l'exercice. Les processus de récupération active d'oxygène qui se déroulent dans le corps sont dus à la reconstitution des ressources de l'organisme (Stocks d'O<sub>2</sub> - ATP - CP) et à l'augmentation du rythme métabolique (augmentation de la FC, augmentation de la respiration, élévation de la température corporelle) causés par les substances et hormones produites au cours de l'exercice physique (Brooks&Fahey 1984 ; Astrand&Rodhal 1986 ; Borshein&Bahr 2003).

- L'EPOC reflète une perturbation générale dans l'homéostasie causée par la dépense physique.
- L'EPOC est calculée en soustrayant l'aire située sous la courbe de VO<sub>2</sub> de repos de l'aire située sous la courbe de VO<sub>2</sub> de récupération (Figures 1 & 4).
- L'EPOC s'accroît avec l'accroissement de l'intensité et/ou de la durée de l'exercice physique (Borshein & Bahr, 2003) (Figures 2 & 3).

## Constitution d'un modèle pour la prédiction de l'EPOC par la méthode des battements cardiaques :

Le modèle pour l'EPOC a été construit sur une base constituée de données obtenues par méta-analyse de données issues d'articles déjà publiés. Seules les études valides ont été soigneusement sélectionnées à cet effet. Les données comportaient 48 exercices de type différents, 158 personnes entraînées ou pas, homme ou femme. La durée des exercices variait entre 2 et 180 minutes pour une intensité s'étageant entre 18 et 108% de la VO<sub>2</sub> Max. La modélisation comportait des exercices comportant à la fois des sollicitations fractionnées et des continues. Les exercices étaient basés sur de la course à pied, du cyclisme et de l'ergomètre (pour le haut du corps).

La prédiction de l'EPOC est faite uniquement à partir des informations dérivées des battements cardiaques (cf Figure 2). Les variables utilisées dans l'estimation sont l'intensité de l'exercice (%VO<sub>2</sub>Max) et la durée (temps entre deux échantillons dT). Rentre ensuite en compte la valeur de l'EPOC au point précédent. Le modèle est capable de prédire à n'importe quel moment donné. Il n'y a pas besoin de mesures à posteriori (cf Figure 1).

Mathématiquement, le modèle peut être exprimé de la manière suivante :

$$EPOC(t)=f(EPOC(t-1), Intensité\_Exercice(t), dT) \text{ (Saalasti, 2003)}$$

A faible intensité (<30-40% VO<sub>2</sub> Max), l'EPOC n'évolue de manière significative après l'augmentation initiale (cf Figure 3). A haute intensité (>50% VO<sub>2</sub> Max), l'EPOC s'accroît continûment. La pente d'accumulation des valeurs avec une intensité croissante.

### FIGURE 1 :

- A** : EPOC mesurée en laboratoire (EPOC meas)
- B** : EPOC basée sur la mesure cardiaque (EPOC pred)

EPOC pred n'a pas besoin de mesures post-exercice.

VO<sub>2</sub>rec = VO<sub>2</sub> de récupération. Trec=Temps de récupération. O<sub>2</sub>BL= VO<sub>2</sub> au repos

### FIGURE 2 :

#### Le modèle d'estimation de l'EPOC.

**HR(max) = Fréquence cardiaque maximale. RespR(max) = Vitesse respiratoire. %VO<sub>2</sub>Max = %VO<sub>2</sub>Max.**

### FIGURE 3

Le modèle d'accumulation de l'EPOC à des intensités diverses en fonction de la durée de l'exercice.

**FIGURE 4**

EPOC<sub>meas</sub> (zone grisée) et EPOC<sub>pred</sub> (ligne pointillée) à partir de quatre exemples d'exercices. Les graphes A à C sont typiques des exercices d'intensité constante, tandis que le graphe D représente un exercice typique au cours duquel l'intensité varie naturellement, par exemple en fonction de la vitesse (par exemple course, le cyclisme, le patinage ou l'aviron), le rythme de travail (par exemple l'aviron en salle ou ergocycle) ou le relief (en montée / descente).

**FIGURE 5**

Modèles de calcul de la composante amont EPOC<sub>pred</sub> (A) et de la composante aval EPOC<sub>pred</sub> (B), ajustés sur un vecteur de données par la méthode de méta-analyse. L'analyse combinée des deux composantes permet de déterminer la vitesse cumulée de variation d'EPOC<sub>pred</sub>.

La formule de calcul de l'EPOC prédite (basée sur les mesures cardiaques) est la combinaison des graphes 4A et 4B. Lorsque l'intensité de l'exercice est élevée, la dette d'oxygène (donc, l'EPOC) s'accroît alors que pendant les périodes de repos ou d'activité de faible intensité, la combinaison de ces résultats aboutit à une diminution du besoin d'EPOC. Il peut y avoir un décalage d'environ 15 s entre la fin de l'exercice et l'atteinte de la valeur maximale de l'EPOC déduite des battements cardiaques. Cela est dû à la cinétique lente de reconstitution de la VO<sub>2</sub> après l'exercice, qui est en retard sur la véritable intensité (le modèle de calcul n'est pas en mesure de reconnaître le point de fin exacte de l'exercice).

VALIDATION DU MODELE : (Données déjà publiées par l'équipe Rusko, 2003)

Méthodes :

Les sujets ayant servi à faire la validation étaient au nombre de 32. Il s'agissait de sujets en bonne santé (il y en avait 8 entraînés et 8 autres moins. Il y avait des hommes et des femmes), d'un âge de  $38 \pm 9$  ans (moyenne  $\pm$  écart type), d'un poids de  $69,6 \pm 10,8$  kg, d'une taille de  $171,6 \pm 8,5$  cm et d'une VO<sub>2</sub>Max de  $44,0 \pm 8,8$  ml/kg/min. La procédure de validation est présentée par la figure 6. Les mesures incluaient :

Deux tests à 40 et 70% de VO<sub>2</sub>max d'une durée de 10 minutes avec une charge constante effectués sur un vélo ergomètre programmable (Ergoline, Bitz, Allemagne)

Un test supramaximal (limite à l'épuisement) volontaire.

Les données cardiaques ont été collectées avec un cardiofréquence-mètre R-R (capable de capturer battement par battement) de chez Polar (Polar Electro Ltd, Kempele, Finlande). Les données de consommation de d'Oxygène ont été enregistrées avec un spiromètre-analyseur enregistrant chaque mouvement respiratoire de chez Sensor Medics (Palo Alto, USA).

**FIGURE 6****Protocoles des tests sous-maximaux et maximaux effectués sur l'ergocycle**Résultats :

La corrélation entre l'estimation de l'EPOC dérivée des mesures de battements cardiaques et l'EPOC mesurée directement a pu être calculée à 0,79. Les valeurs d'erreur moyenne absolue (MAE) concernant l'EPOC<sub>pred</sub>, lorsque l'on les compare aux valeurs mesurées, ont été respectivement de 9,4 ; 14,0 et 16,9ml/kg pour les exercices à charge constantes à 40 et 70% et pour celui à charge maximale. En normalisant les données, la valeur d'erreur moyenne absolue se monte à 13,7ml/kg. Les valeurs d'EPOC<sub>pred</sub> (HR) sont étroitement liées au taux de lactates sanguins (cf Figure 8).

**FIGURE 7**

Représentation graphique de la corrélation entre l'EPOCpred (dérivée de la mesure des battements cardiaques) et l'EPOCmeas (mesure directe).

### FIGURE 8

Représentation graphique de la corrélation entre l'EPOCpred (dérivée de la mesure des battements cardiaques) et le taux de lactates sanguin durant la mesure sur le cyclo-ergomètre (modifié par rapport à la publication de l'équipe Rusko, 2003).

### EPOC : Ce qu'il convient de savoir sur l'exercice :

Le tableau 1 récapitule les caractéristiques de l'exercice qui déterminent l'amplitude des valeurs de l'EPOC. Au cours de l'exercice, l'EPOC augmente ou diminue selon que la variation attendue sur l'homéostasie est une perturbation ou une récupération. L'EPOC commence à diminuer si l'intensité diminue suffisamment en cours d'exercice. Cela implique que la charge d'entraînement physiologique ne s'accroît pas encore mais diminue au contraire.

De hautes valeurs d'EPOC sont généralement atteintes au cours d'un exercice où la charge cardio-respiratoire et le consommation d'oxygène reste à niveau élevé, sans possibilité de récupération. Une discipline sportive qui nécessite une forte masse musculaire comme le ski de fond et la course à pied donne des valeurs d'EPOC plus élevées qu'une discipline sportive qui ne nécessite pas d'importantes masses musculaires. Des valeurs élevées d'EPOC sont également atteintes lors de la pratique de sports où la charge physique est fractionnée (Interval training, football, squash) si les périodes de récupération sont courtes et que la dépense physique reste modérée. Lorsqu'elle est appliquée à un même type de pratique sportive, la méthode d'EPOCpred peut être utilisée pour évaluer la charge physique des différentes disciplines.

L'EPOCpred reflète principalement les propriétés de l'exercice aérobic et, par conséquent, ne reflète pas de façon optimale l'épuisement dû à la fatigue musculaire locale et / ou de l'acidité lactique. On peut donc se retrouver face à des valeurs d'EPOC faibles bien que l'individu soit épuisé. La variation au jour le jour de l'état d'entraînement physiologique d'un individu peut être suivi par le biais de l'EPOC. Les changements à court terme de la performance, des facteurs environnementaux et des éventuelles maladies modifient l'EPOC. L'EPOC est une mesure qui est sensible aux réponses des deux facteurs cardiaque et respiratoire. Même des événements peu usuels peuvent-être suivis (voir tableau 2).

**Tableau 1. EPOC dépend des propriétés de l'exercice physique**

<b>EPOC élevée</b>	<b>EPOC basse</b>
Augmentation de l'intensité Durée plus longue Exercice continu Périodes de récupération plus courtes pendant un exercice fractionné Récupération active pendant un exercice fractionné Dépense physique du corps entier	Diminution de l'intensité Durée plus courte Exercice discontinu Périodes de récupération plus longues pendant un exercice fractionné Récupération passive pendant un exercice fractionné Dépense physique du corps partielle (haut du ou bas du corps seulement)

**Tableau 2. Facteurs influençant les valeurs de l'EPOC par rapport aux valeurs habituelles.**

<b>Valeurs d'EPOC inhabituellement hautes</b>	
<b>Causes possibles</b>	<b>Actions recommandées</b>

Baisse du niveau d'entraînement	Poursuivre l'entraînement. Si possible, réduire le niveau de l'EPOC en ciblant un retour à la normale ou légèrement dessous.
Conditions environnementales : altitude élevée, forte température ou humidité	Réduire la charge de travail pour retrouver des niveau d'EPOC usuels
Pas complètement remis de l'exercice précédent	Baisser la charge d'entraînement et privilégier le repos
Maladie	Pas d'activité physique lorsque l'on est souffrant
<b>Valeurs d'EPOC inhabituellement basses</b>	
Causes possibles	Actions recommandées
Monotonie, volume d'entraînement très élevé	Assurer une bonne récupération dans le plan d'entraînement. Introduire des séances à basse et à haute intensité dans le plan d'entraînement
Augmentation du niveau d'entraînement	Augmenter l'intensité et/ou la durée d'entraînement pour atteindre ou dépasser légèrement les anciens niveaux d'EPOC

**Tableau 3. Synthèse des différents exercices ciblés et liens avec l'évolution de l'EPOC**

Type et but de l'exercice	Détail de l'exercice	Variations de l'EPOC attendues
Exercice de récupération : Accélérer l'élimination des lactates après l'exercice et les sous-produits issus du métabolisme dans les muscles.	Exercice à charge constante basse (30 à 50% de la VO <sup>2</sup> max), de courte durée (15 à 30 minutes). Les niveaux de lactates restent identiques à ceux du repos ou baissent pour arriver aux valeurs de repos. Aucune perturbation ou récupération de l'homéostasie du corps.	EPOC reste à bas niveau ou baisse.
Endurance de base / Entraînement long et lent : Améliorer l'oxydation des graisses et constituer la base d'endurance (seuil aérobie).	Exercice à charge constante basse (40 à 60% de la VO <sup>2</sup> max), de longue durée (1 à plusieurs heures). Les lactates restent au niveau du	Accumulation d'EPOC lente et un léger pic d'EPOC.

	repos. Pas de modification particulière de l'homéostasie du corps.	
Endurance de vitesse / Entraînement long et rythme rapide : Améliorer l'oxydation des glucides et de la clairance des lactates (seuil anaérobie).	Exercice à charge constante à rythme plus soutenu (60 à 85% de la $VO_2^{max}$ ), de durée moyenne (30 minutes à une heure). Les lactates sanguins s'accroissent au dessus du seuil de repos. Des perturbations significatives de l'homéostasie du corps sont relevées.	Accumulation rapide de l'EPOC avec présence d'un pic important.
Entraînement PMA : Améliorer la performance maximale cardio-respiratoire, la glycolyse, la tolérance aux lactates, la force explosive des muscles profonds (besoin spécifique du rythme de course)	Travail à charge constante ou fractionné à haute intensité (>85% $VO_2^{max}$ ), de durée courte ou modérée (15 à 30 minutes). Le niveau des lactates sanguins s'accroît fortement et la fatigue arrive rapidement.	Accumulation très rapide de l'EPOC avec présence d'un très important pic.

### UTILISATIONS DE L'EPOC POUR L'ENTRAINEMENT

Le contrôle de la charge d'entraînement au cours d'une séance peut être appliqué dans n'importe quel sport comme montré dans le tableau 4. Une personne souhaitant améliorer son niveau de forme physique peut essayer différentes disciplines et ainsi trouver celles qui sont les plus adaptées à son objectif.

L'évaluation de l'EPOC peut-être utilisée pour confirmer/infirmier si l'exercice réalisé a permis d'atteindre les objectifs préalables. Le tableau 3 présente les principaux types d'exercices et les réponses attendues du point de vue mesures de l'EPOC. Si le but est d'améliorer la capacité maximale aérobie, les mesures d'EPOC doivent être hautes (cf Figures 9A et 9B). Au cours des exercices à faible intensité ou au cours de l'échauffement, le niveau d'EPOC doit demeurer bas. Au cours de la phase d'arrêt, une baisse de l'EPOC doit être observée car elle indique une récupération active après l'exercice.

L'évaluation de l'EPOC est utile dans la surveillance au quotidien des changements de la réponse physiologique à l'entraînement. Si une réponse inattendue est observée, le plan d'entraînement peut être adapté en fonction de la raison de la réponse différente (voir Tableau 2). L'EPOC est l'image des changements dans les niveaux d'entraînement. Si le pic d'EPOC est plus bas au cours d'un même exercice à charge de travail identique (exercice de contrôle), cela signifie que le niveau d'entraînement a probablement été amélioré car la perturbation de l'homéostasie est moindre. De même, si l'EPOC s'élève, le niveau de forme physique a

probablement diminué (voir tableau 2 pour plus de détails sur des niveaux d'EPOC plus ou moins élevés que normalement. Plus le sportif est apte à réaliser à même intensité un exercice plus longtemps qu'un concurrent moins entraîné, plus ses besoins d'EPOC seront élevés.

Lorsque l'on encadre une équipe, il est important d'avoir des informations sur l'état physiologique de chacun. Les séances d'entraînement de l'équipe et les jeux ont un impact différent sur chaque joueur en raison d'écart individuels (par exemple au niveau de l'entraînement physique, au niveau du style de jeu, au niveau de la motivation). Avec l'évaluation de l'EPOC la charge d'entraînement de chacun peut-être surveillée et ainsi individualisée (par exemple, certains joueurs ont plus besoin d'intensité alors que d'autres ont plus besoin de repos après les jeux). Voir les figures 9C et 9D pour un exemple dans le football.

**Figure 9**

Exemples de variations d'EPOCpred (à partir des battements cardiaques) sur plusieurs type d'exercices: (A) session de formation à haute intensité d'intervalle (la marche nordique et CAP en virages serrés en montée). (B) A haute intensité d'exercice à vitesse constante en CAP. (C) Un joueur de football (défenseur) de la ligue nationale finlandaise au cours d'un match amical d'avant-saison. (D) Un joueur de la même équipe (milieu de terrain) dans le même match. Notez la différence dans la charge physiologique entre les deux joueurs. Le match a été précédé d'un 20-minutes d'échauffement et il y a eu une mi-temps de 10 min environ entre les deux mi-temps.

#### **Programmation et planification de l'entraînement :**

La charge globale qui s'accumule au cours des périodes d'entraînement peut également être évaluée à l'aide de l'EPOC. Un exemple schématique de la charge d'entraînement d'un athlète d'endurance est synthétisé par la figure 10. L'intégration dans l'entraînement des paramètres d'intensité et de durée permet de faire des analyses quantitatives plus facilement. Une analyse plus précise des charges précédentes aide à déterminer les besoins de récupération et permet d'ajuster au mieux les séances suivantes : la charge d'entraînement peut-être accrue si l'on arrive à déterminer que la charge des séances précédentes a été trop basse ou à contrario diminuée si les séances précédentes ont été trop fortes.

**Figure 10.**

Représentation schématique de la charge d'entraînement d'un athlète d'endurance pendant huit semaines consécutives (les colonnes représentent les valeurs quotidiennes de l'EPOC). Ce délai de deux mois prépare l'athlète pour les courses les plus importantes de la saison. Les valeurs quotidiennes sont plus élevées le week-end, principalement en raison de courses. Notez également les jours de chargement moins avant journées de course.

Tableau 4. : Ce tableau présente ci-après des valeurs typiques d'EPOC basées sur la prédiction par la méthode de la mesure de la FC dans différents sports.

Sport / Activité	Exercice type	Impact sur le niveau maximum aérobie (VO <sup>2</sup> max)	EPOC typique (en ml/kg)

Course A Pied	Course de 10km (27 à 50 mn, 70 à 90% VO <sup>2</sup> max)	Fort à très fort	120 à 260
	Marathon 42km (2h10 ) 5h, 65 à 85% VO <sup>2</sup> max)	Fort à très fort	120 à 650
	60min basse intensité (55 à 65% VO <sup>2</sup> max)	Faible à modéré	40 à 90
Marche	Marche rapide 1h (40 à 50% VO <sup>2</sup> max)	Faible	10 à 25
	Trekking avec sac à dos sur terrain accidenté, 5h (50 à 60% VO <sup>2</sup> max)	Faible à modéré	25 à 75
Cyclisme	Séance de spinning de 40mn (60 à 80% VO <sup>2</sup> max)	Modéré à très fort	50 à 200
	Vélotaf 20mn (30 à 50% VO <sup>2</sup> max)	Faible	5 à 15
Aviron	Séance d'entraînement aérobie avec ergomètre 30 mn (65 à 75% VO <sup>2</sup> max)	Modéré à fort	60 à 120
	Echauffement en salle avec ergomètre de 10mn (55 à 65% VO <sup>2</sup> max)	Faible	15 à 25
Ski De Fond	Course 15km 35 à 60mn (70 à 85% VO <sup>2</sup> max)	Fort à très fort	130 à 320
	Course 90km(comme la Vasaloppet), 3h40 à 10h (50 à 85% VO <sup>2</sup> max)	Faible à très fort	30 à 550
	2h basse intensité (40 à 60% VO <sup>2</sup> max)	Faible à modéré	10 à 70
Football	Match 90min, Arrière	Faible à haut	30 à 150
	Match 90min, Milieu de terrain, Attaquant	Fort à très fort	15 à 300
Entraînement aérobie	Exercices aérobies, 45mn (65 à 85% VO <sup>2</sup> max)	Modéré à très fort	70 à 200
Badminton/Squash	1h de jeu (70 à 80% VO <sup>2</sup> max)	Fort à très fort	130 à 280

Tennis	1h de jeu (50 à 70% VO <sup>2</sup> max)	Faible à fort	25 à 130
Golf	Parcours de 18 trous en 3h (30 à 40% VO <sup>2</sup> max)	Très faible à faible	5 à 10

## BIBLIOGRAPHIE (et en savoir plus)

- \* **Åstrand, P.-O. & Rodahl, K. (1986).** Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise. 3rd ed. McGraw-Hill, USA.
- \* **Banister, E.W. (1991).** Modeling Elite Athletic Performance. In: MacDougall, J.D., Wenger, H.A. & Green, H.J. (Eds.) Physiological Testing of High-Performance Athlete. 2<sup>nd</sup> ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- \* **Brehm, B.A. & Gutin, B. (1986).** Recovery energy expenditure for steady state exercise in runners and nonexercisers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18 (2):205-210.
- \* **Benedict, F.G. & Carpenter, T.M. (1910).** The metabolism and energy transformations of healthy man during rest. Washinton, DC: The Carnegie institute.
- \* **Brooks, G.A. & Fahey, T.D. (1984).** Exercise physiology. Human bioenergetics and its applications. New York: Macmillan Publishing Company.
- \* **Børsheim E. & Bahr R. (2003).** Effect of exercise intensity, duration and mode on postexercise oxygen consumption. *Sports Medicine* 33(14): 1037-1060.
- \* **Foster C., Florhaug J.A., Franklin J., Gottschall L., Hrovatin L.A., Parker S., Doleshal, P., Dodge C. (2001).** A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15(1): 109-115.
- \* **Gaesser, G. & Brooks, G. (1984).** Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16: 29 - 43.
- \* **Gore, C.J. & Withers, R.T. (1990).** The effect of exercise intensity and duration on the oxygen deficit and excess post-exercise oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology* 60: 169 – 174.
- \* **Hawley, J.A., Myburgh, K.H., Noakes, T.D. & Dennis, S.C. (1997).** Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *Journal of Sports Sciences* 15: 325 – 333.
- \* **Hill, A.V. & Lupton, H. (1923).** Muscular exercise, lactic acid, and the supply and the utilization of oxygen. *Q J Med* 16: 135 – 171.
- \* **Laursen, P.B. & Jenkins, D.G. 2002.** The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training. Optimising Training Programmes and Maximising Performance in Highly Trained Endurance Athletes. *Sports Medicine* 32 (1): 53 – 73.
- \* **Rusko, H. (Ed.) (2003).** Handbook of Sports Medicine and Science - Cross Country Skiing. Blackwell Science.
- \* **Rusko, H., Luhtanen, P., Rahkila, P., Viitasalo, J., Rehunen, S. & Härkönen, M. (1986).** Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 55: 181 – 186.
- \* **Rusko, H.K., Pulkkinen, A., Saalasti, S., Hynynen, E. & Kettunen, J. (2003).** Pre-prediction of EPOC: A tool for monitoring fatigue accumulation during exercise? ACSM Congress, San Francisco, May 28-31, 2003. Abstract: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35(5): Suppl: S183.
- \* **Saalasti, S. (2003).** Neural networks for heart rate time series analysis. Academic Dissertation, University of Jyväskylä, Finland.
- \* **Sedlock, D.A. (1991).** Postexercise Energy Expenditure Following Upper Body Exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 62 (2): 213 – 216.
- \* **Seppänen, M.J. (2005)** Effect of increased velocity and duration of running on training load as evaluated by EPOC. Master's thesis, University of Jyväskylä, Department of Biology of Physical Activity. (In Finnish: Nopeuden ja keston vaikutukset tasavauhtisten juoksuharjoitusten kuormittavuuteen.).  
Pour plus d'informations :

Firstbeat Technologies Ltd.  
Rautpohjankatu 6  
FIN-40700 Jyväskylä  
Finland  
[info@firstbeattechnologies.com](mailto:info@firstbeattechnologies.com)  
[www.firstbeattechnologies.com](http://www.firstbeattechnologies.com)