

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE (3407)

PAR
PASCAL DUFRESNE

EFFET D'UN PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT FRACTIONNÉ SUR LA RÉPONSE
PHYSIOLOGIQUE CARDIAQUE ET L'OXYGÉNATION DU MUSCLE SQUELETTIQUE
CHEZ DES VÉTÉTISTES

MAI 2012

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS	viii
CHAPITRES	
1. INTRODUCTION.....	1
2. CADRE THÉORIQUE.....	3-18
Analyse des résultats d'un parcours de VTT en cross-country.....	3
Caractéristiques physiologiques du vététiste.....	5
Adaptation périphérique de l'oxygénation du muscle squelettique.....	11
Fonction cardiaque à l'effort.....	12
L'entraînement pour le VTT de compétition.....	13
Entraînement fractionné et adaptations physiologiques.....	14
3. PROBLÉMATIQUE.....	19-20
4. QUESTIONS DE RECHERCHE.....	21
5. HYPOTHÈSE EXPÉRIMENTALE.....	22
6. MÉTHODOLOGIE.....	23-32
7. ARTICLE.....	33
7.1 Abstract.....	34
7.2 Introduction.....	36
7.3 Hypothesis.....	39

7.4 Methods.....	39
7.5 Results.....	45
7.6 Discussion.....	69
7.7 Conclusion.....	72
7.8 Bibliography.....	73
8. CONCLUSION GÉNÉRALE.....	76
9. LIMITES, PERSPECTIVES ET RETOMBÉES.....	78
10. BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE.....	81
ANNEXES	
Données des tableaux divers.....	A-1 à A-28
Figures des protocoles	

RÉSUMÉ

Le vélo de montagne de type cross-country nécessite de l'endurance et la capacité d'effectuer des efforts plus ou moins brefs à des efforts de travail au-delà de la puissance maximale aérobie (PAM). Ceci implique que les vététistes doivent à plusieurs reprises solliciter les filières énergétiques aérobie et anaérobie sur les parcours de compétition. Il est bien connu que l'entraînement par intervalles (EPI) s'accompagne d'une plus grande amélioration des déterminants de la performance dans les sports dits d'endurance. La modulation de la charge de travail par les entraîneurs est empirique et les adaptations centrales et périphériques qui l'accompagnent ne sont pas encore scientifiquement bien cernées. En outre, il existe peu de données précises sur la structuration des séances d'EPI qui favoriseraient ces adaptations. L'objectif de ce projet de recherche est de connaître l'effet d'un programme d'EPI sur la réponse physiologique cardiaque et l'oxygénation du muscle squelettique chez des vététistes. À notre connaissance, peu d'études ont examiné l'adaptation des variables centrales et périphériques suite à un programme d'entraînement par intervalles chez des cyclistes entraînés. L'expérience fut menée chez onze vététistes de compétition. Les participants ont entrepris l'étude en se soumettant à une série de tests de laboratoire incluant : un test progressif maximal pour mesurer leur VO_2 max et puissance aérobie maximale (PAM); un test d'effort maximal de 320 mètres pour mesurer la puissance et/ou la capacité des systèmes anaérobies et une course de type contre-la-montre virtuelle de 13,2 km pour mesurer la performance du système aérobie. Les cyclistes devaient réaliser 8 séances d'entraînement à des intensités supra maximales équivalentes à 115% de leur PAM en plusieurs fractions d'efforts consécutives de 20 secondes entrecoupées de 40

secondes de récupération active. La durée des séances d'entraînement variait entre 60 et 90 minutes à travers les quatre semaines du programme d'entraînement. Les tests d'évaluation ont été repris à la fin du protocole d'entraînement. Le programme EPI à des intensités supra maximales avait été conçu à la lumière de nos résultats préliminaires acquis sur le parcours de la Coupe du monde 2007 et du championnat canadien 2012 de vélo de montagne à St-Félicien, Québec, Canada. L'objectif était de cerner les fractions d'effort qui correspondent le plus fréquemment aux exigences du parcours des compétitions afin de construire un programme d'EPI réaliste. L'évolution des variables physiologiques à l'effort suivantes a été étudiée : la fréquence cardiaque, le volume d'éjection systolique (VES), le débit cardiaque, la ventilation, la consommation et la saturation artérielle en oxygène, l'équivalent respiratoire en oxygène V_E/VO_2 , le pouls oxygéné, la lactatémie et l'oxygénation du muscle squelettique vaste latéral.

Les résultats de cette étude démontrent que le temps de la performance et la puissance ont été significativement améliorés ($p < 0,01$), de 4,1% et 4,5% respectivement, au test final du contre-la-montre virtuel (pré: 2207 ± 161 sec, $244 \pm 25,9$ W; post: 2116 ± 175 sec, $255 \pm 28,8$ W). Le programme EPI n'a pas amélioré de manière significative la puissance de pointe au cours du test de puissance. Toutefois, l'indice de fatigue au test de puissance a diminué ($p < 0,01$) de 7,1% après le programme d'entraînement (pré $43,7 \pm 5,9$ %; après $40,6 \pm 6,7$ %). Le programme EPI a amélioré ($p < 0,01$) la PAM de 7,5% et le VO_2 max relatif de 3,3% ($p \approx 0,056$). La VE/VO_2 et la lactatémie ont été considérablement réduits dans la plupart des niveaux d'intensité sous-maximale lors du post-test de PAM. Cependant, aucune différence significative n'a été observée pour les FC, le VES et la saturation en oxygène (SpO_2)

entre les tests pré et post-MAP. La plus importante des découvertes de cette étude concerne l'amélioration significative ($p < 0,05$) de la saturation en oxygène du muscle squelettique à des paliers d'effort sous-maximaux. Nous observons aussi une diminution significative ($p < 0,05$) de l'extraction de l'oxygène à un palier d'effort sous-maximal avoisinant le seuil lactique lors du test de PAM en post entraînement. Par ailleurs, les débits sanguins du muscle squelettique étudiés ont montré une tendance à la diminution, sans toutefois être significatif en général, cette étude a permis de démontrer qu'un programme de HIT à 115% de la PAM permet d'améliorer la performance et que les variations physiologiques correspondent à des adaptations périphériques plutôt que centrales.

REMERCIEMENTS

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Je tiens à remercier le professeur Claude Lajoie, qui, en tant que directeur de ce mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et bien disposé tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer. Sans cet appui, ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Mes remerciements s'adressent également au professeur Louis Laurencelle qui a accepté de répondre à mes questions avec précision et amabilité. Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Simon Bergeron-Vaillancourt pour sa précieuse collaboration lors des expérimentations et pour sa gentillesse à m'enseigner les rudiments du laboratoire. Sans oublier mon épouse Valérie Gauthier, ma fille Mélia et mon garçon Maxim pour leur soutien moral et leur grande patience lors de mes nombreuses absences. Mes remerciements à tous les athlètes qui ont participé à l'étude sans jamais faillir, et ce, en donnant un rendement sportif magistral. Je remercie également les professeurs, le personnel de soutien, les stagiaires en kinésiologie du département des sciences de l'activité physique de l'UQTR ainsi que le Centre National Multisports de Montréal (CNMN) pour leurs généreuses contributions.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Analyse de l'allure de course de St-Félicien par périodes de temps.....	14
Tableau 2-2 : Consommation maximale d'oxygène ($\text{VO}_2 \text{ max}$) et caractéristiques anthropométriques des vététistes rapportées dans la littérature.....	18
Tableau 2-3 : Comparaison des caractéristiques anthropométriques des vététistes et des cyclistes de route.....	20
Tableau 2-4 : Réponses physiologique à l'exercice maximal des vététistes et cyclistes de route.....	20
Tableau 2-5 : Résumé des résultats de certaines études conduites sur l'EPI à haute intensité chez les cyclistes très entraînés.....	27
Tableau 2-6 : Représentation schématique du protocole expérimental de cette étude et de la progression des durées d'entraînement sur une période de 4 semaines.....	41
Tableau 7-1 : Caractéristiques physiologiques observes chez les vététistes lors du pré-post MAP test (Section anglaise du manuscrit scientifique).....	51

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 : Analyse du parcours de St-Félicien et distribution de la puissance.....	13
Figure 2-2 : Les interactions des caractéristiques physiologiques et les déterminants de la performance pour les athlètes d'endurance.....	5
Figure 2-3: Dynamo électromagnétique adapté pour vélo.....	33
Figure 2-4 : Position des électrodes cardiaques sur le thorax de l'appareil Physio Flow.....	35
Figure 2-5 : Distances et dénivélés du parcours de St-Félicien reproduits à l'aide d'une montre GPS Garmin.....	39
Figure 7-1 : Heart rate (HR) at MAP test.....	46
Figure 7-2 : Stroke volume (SV) during the VO ₂ max test.....	47
Figure 7-3 : Cardiac output (CO) during the VO ₂ max test.....	48
Figure 7-4 : Arterial Saturation (SpO ₂) during the VO ₂ max test.....	49
Figure 7-5 : Lactatemia during the VO ₂ max test.....	50
Figure 7-6 : VO ₂ during the VO ₂ max test.....	51
Figure 7-7 : V _E during the VO ₂ max test.....	52
Figure 7-8 : V _E /VO ₂ during the VO ₂ max test.....	53
Figure 7-9 : TSI % during the VO ₂ max test.....	54
Figure 7-10 : HHb during the VO ₂ max test.....	55
Figure 7-11 : tHB during the VO ₂ max test.....	56
Figure 7-12 : % SpO ₂ during the initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	57
Figure 7-13 : Lactatemia during the initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	58

Figure 7-14 : % VO ₂ during the initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	59
Figure 7-15 : O ₂ Hb during the Initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	60
Figure 7-16 : TSI % during the Initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	61
Figure 7-17 : tHB during the Initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	62
Figure 7-18 : HHb during the Initial vs final 60 minutes of the exercise training protocols.....	63
Figure 7-19 : Pacing strategy during the time trial test (TTT).....	64
Figure 7-20 : Power output during the time trial test.....	65
Figure 7-21 : Lactatemia during the time trial test.....	66
Figure 7-22 : Effect of the HIT program on peak power output during the power test..	67
Figure 7-23 : Effect of the HIT program on fatigue index during the power test.....	68

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BPM : Battements cardiaques par minute.

EPI : Entraînement par intervalles.

FC : Fréquence cardiaque.

FCM : Fréquence cardiaque maximale.

$\text{mL/kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$: Millilitres par kilogramme de masse corporelle par minute.

mM : Millimoles par litre.

O₂ : Oxygène.

OBLA : Onset of blood lactate accumulation.

PAM : Puissance aérobie maximale.

Pméca : Puissance mécanique exprimée en watts.

RPM : Révolutions par minute.

SpO₂ : Saturation en oxygène.

VES : Volume d'éjection systolique.

VTT : Vélo tout terrain.

VO₂ : Consommation d'oxygène.

VO₂ max : Consommation maximale d'oxygène.

SPIR (NIRS) : Spectrométrie dans le proche infrarouge.

DC : Débit cardiaque.

LVET : Temps d'éjection ventriculaire.

EDV : Volume de remplissage.

1. INTRODUCTION

Le contexte du sport cycliste

Pendant les séances d'entraînement des cyclistes, une préparation méthodique et structurée doit être réalisée en vue d'obtenir les meilleurs résultats lors des compétitions sportives. L'objectif commun des entraîneurs et des intervenants qui œuvrent au sein des sports cyclistes consiste à optimiser et maximiser le potentiel athlétique des cyclistes. Afin d'optimiser les entraînements, il est crucial de bien sélectionner les méthodes d'entraînement selon les exigences spécifiques de la discipline, en cyclisme. La planification des séances, le volume d'entraînement, l'intensité de l'effort, la densité, la durée et la fréquence des séances d'entraînement sont tous des paramètres qui devraient être méticuleusement prescrits selon les besoins physiologiques associés aux exigences des compétitions.

Caractéristiques de la course de VTT de type cross-country

De 1980 à nos jours, un réseau de courses international a été mis en place par l'Union Cycliste Internationale (UCI). Les premières compétitions de vélo tout terrain (VTT) cross-country (XC) se sont déroulées au début des années 80 (Stepto, Hawley et al. 1999; Padilla, Mujika et al. 2000; Laursen, Blanchard et al. 2002; Joyner and Coyle 2008) En 1996, le VTT a été introduit lors des Jeux olympiques à Atlanta. La course de VTT se caractérise par un nombre défini de tours, variant de 4 à 6, pour une distance de 5 et 9 kilomètres par tour. La durée des courses est règlementée et se situe entre 1 h 30 et 2 h 15 d'effort continu. En termes de durée, les exigences physiques se comparent à certaines autres disciplines telles que le marathon, le

triathlon de distance olympique et certaines épreuves contre-la-montre de cyclisme sur route où un effort continu est nécessaire. Par contre, les courses de VTT nécessitent des efforts physiques qui sont beaucoup plus variables à cause des exigences imposées par le relief du parcours. Chaque compétition commence par un départ collectif où les athlètes rassemblés doivent réaliser un démarrage explosif, qui nécessite beaucoup de puissance, afin de se démarquer dès le début de la course, pour éviter les engorgements lors des passages techniques. Parmi les différents parcours, dans la mesure du possible, on retrouve divers types de terrains comportant des routes et chemins forestiers, des champs, des chemins de terre ou de gravier qui présentent un nombre important de montées et descentes. Bien que les données physiologiques pour les cyclistes de route de niveau international soient abondamment rapportées, on trouve relativement peu de données physiologiques pour le VTT malgré son inclusion aux Jeux olympiques de 1996.

2. CADRE THÉORIQUE

Analyse des résultats d'un parcours de cross-country

L'analyse empirique, par le laboratoire du l'université du Québec à Trois-Rivières, du parcours du championnat canadien 2009 de vélo de montagne tenu à St-Félicien (QC) révèle que la puissance de travail requise, pour espérer monter sur le podium, excède souvent la puissance aérobie maximale (PAM). En effet, nous avons estimé la distribution de la puissance de travail (figure 1) chez un athlète élite à l'aide d'un capteur de puissance Powertap SL+ (Saris Cycling Group, Madison, WI, USA) placé sur la roue arrière du vélo (Bertucci, Duc et al. 2005). Cet athlète a réalisé 5 tours d'une distance de 6,63 kilomètres sur le parcours de St-Félicien pour une distance totale de 32,7 kilomètres. Sur ce parcours, le coureur a réalisé un temps final de 1 h 59 min 56 s avec une moyenne de 279 watts et une cadence de pédalage de 72 révolutions par minute (RPM). Nous avons observé qu'environ 35% du temps total de la course avaient requis une puissance de 100 à 121% de la PAM, ce qui représentait environ 120 bouts d'efforts à réaliser variant de 5 à 53 secondes. Impellizzeri et al. (2002) ont obtenu des résultats similaires; ils ont démontré, à partir des données recueillies lors d'une course de 147 minutes, que $31 \pm 16\%$ du temps se passait au-dessus du seuil lactique (OBLA). Nos analyses plus fines des résultats de course, chez un athlète élite, nous révèlent que les temps d'efforts au-dessus de la PAM (supra maximaux) et les temps d'efforts sous-maximaux alternent selon deux différents ratios moyens en temps : un ratio 2.22 (Supra 110% PAM, durée 23 s) pour 1 (Infra 88% PAM; durée 11 s) et un ratio de 2.5 (Supra 103% PAM, durée 18 s) (Infra 62% PAM; durée 44 s). L'analyse plus détaillée nous révèle que le ratio 1/2.5 est plus fréquent (57%) par

comparaison au ratio 2.22/1 (43%). Le tableau 1 montre plus en détail la méthode appliquée pour obtenir nos résultats de la distribution de la charge. Les nombres du tableau 2-1 font référence à la figure 1 et indiquent les périodes de temps et les distances parcourues à des intensités au-dessus de la PAM (370 W) que l'athlète élite a réalisées pour l'ensemble du parcours. Dans un même ordre d'idées, les lettres de la figure 2-1 indiquent les périodes et distances en dessous de la PAM (370 W).

Périodes	Puissance moyenne (% PAM)	Durée/Distance
1 (1 :43 – 1 :43)	445 w (120%)	60 sec / 310 m
A (1 :45 – 2 :05)	328w (89%)	20 sec / 140 m
2 (2 :06 – 2 :12)	378 w (102%)	6 sec / 40 m
B (2 :14 – 2 :30)	332 w (90%)	16 sec / 120 m
3 (2 :31 – 2 :44)	368 w (100%)	13 sec / 60 m
C (2 :45 – 3 :24)	311w (84%)	39 sec / 210 m
4 (3 :25 – 3 :39)	392 w (106%)	14 sec / 60 m
D (3 :40 – 3 :44)	343 w (93%)	4 sec / 20 m
5 (3 :46 – 4 :07)	428 w (116 %)	21 sec / 80 m
E (4 :08 – 4 :25)	286 w (77%)	16 sec / 80 m

Tableau 2-1 : Analyse de l'allure de course de St-Félicien par périodes de temps

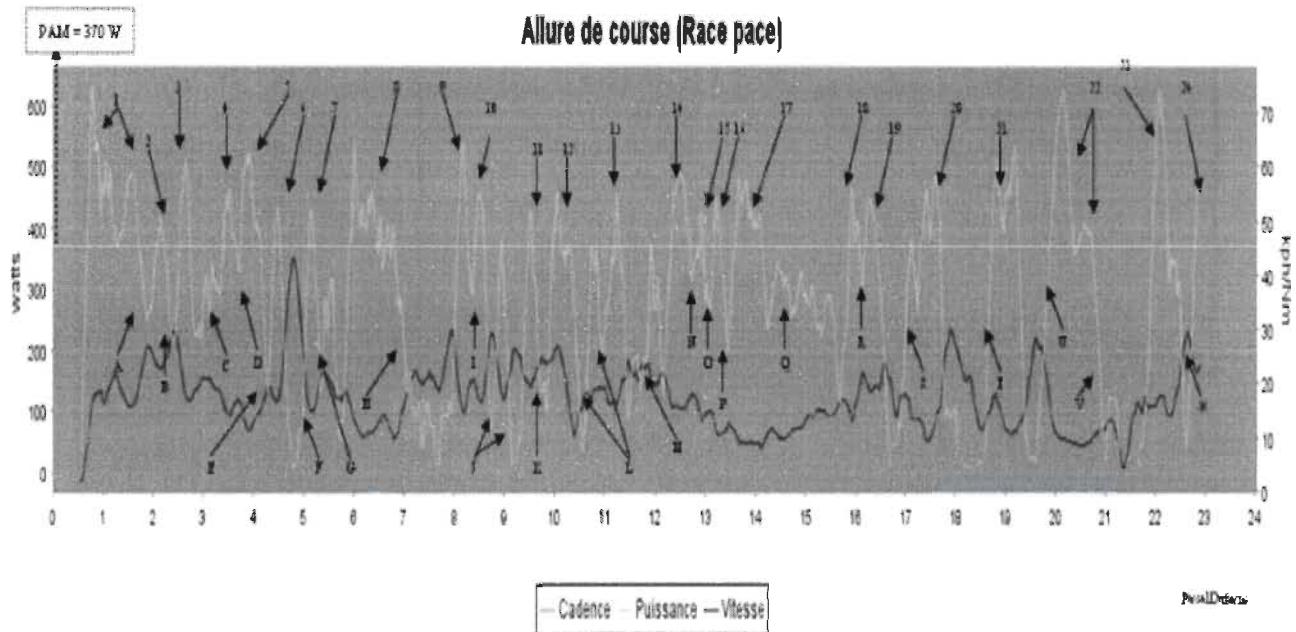


Figure 2-1 : Analyse du parcours de St-Félicien et distribution de la puissance.

Les athlètes performent à un fort pourcentage ($84\% \pm 3$) de leur $\text{VO}_2 \text{ max}$, à des fréquences cardiaques moyennes représentant $90\% \pm 3$ de la fréquence cardiaque maximale, et plus de 82% du temps de la course est passé au-dessus du seuil lactique (au-dessus de 4mmol/L de lactate) (Impellizzeri, Sassi et al. 2002). Stapelfeldt et al. ont aussi mesuré les valeurs de puissance et de fréquence cardiaque lors de 15 courses de VTT XC (13 nationales et 2 internationales) (Stapelfeldt, Schwirtz et al. 2004). Durant ces courses, la moyenne de puissance des vététistes de l'équipe nationale allemande était de $246 \text{ W} \pm 12 \text{ W}$ ou $3.6 \pm 0.2 \text{ W/kg}$ pour les hommes et de $193 \text{ W} \pm 3.1 \text{ W/kg}$ pour les femmes. Le profil de puissance moyenne de 208 W était caractérisé par des oscillations variant de 50 à 400 W. Ces résultats indiquent que ces épreuves sont caractérisées par des efforts intermittents qui se reproduisent à plusieurs reprises pendant la course. La fréquence cardiaque était relativement stable durant les épreuves (hommes 177 ± 6 ; femmes $172 \pm 6 \text{ bpm}$) et ce, malgré le fait que le terrain variait beaucoup. Ces résultats confirment ceux que nous avons obtenus par notre sujet lors de notre étude préliminaire, une puissance moyenne de 279 W (4 W/kg), correspondant à 75% de la PAM et une moyenne de fréquence cardiaque de 179 bpm.

Caractéristiques physiologiques du vététiste

Il convient de dire que plusieurs auteurs ont analysé les caractéristiques physiologiques des cyclistes de route afin de mieux comprendre les effets de l'entraînement et des situations de compétition (Luciá, Hoyos et al. 1999; Padilla, Mujika et al. 1999; Fernández-García, Pérez-Landaluce et al. 2000; Padilla, Mujika et al. 2000; Mujika and Padilla 2001; Lucia, Earnest et al. 2003; Lucia, Hoyos et al. 2003; Faria, Parker et al. 2005; Faria, Parker et al. 2005; Padilla, Mujika et al. 2008; Earnest,

Foster et al. 2009). D'autres études ont comparé les caractéristiques physiologiques des vététistes par rapport aux cyclistes de route (Wilber, Zawadzki et al. 1997; Lee, Martin et al. 2002; Impellizzeri, Marcra et al. 2005). Quelques chercheurs ont étudié de façon spécifique les variables physiologiques du vélo de montagne (Wilber, Zawadzki et al. 1997; MacRae, Hise et al. 2000; Baron 2001; Lee, Martin et al. 2002; Stapelfeldt, Schwirtz et al. 2004; Impellizzeri and Marcra 2007). En général, les variables qui permettent de prédire la performance dans les sports d'endurance indiquent que les athlètes élites possèdent un $\text{VO}_2 \text{ max}$ élevé, une grande densité des capillaires musculaires, un volume d'éjection systolique élevé, une forte densité mitochondriale, un contenu riche en hémoglobine et une activité enzymatique oxydative importante (Joyner and Coyle 2008). Joyner et Coyle ont illustré à l'aide d'un schéma les interactions des caractéristiques physiologiques et les déterminants de la performance pour les athlètes d'endurance (Joyner and Coyle 2008) : voir figure 2-2.

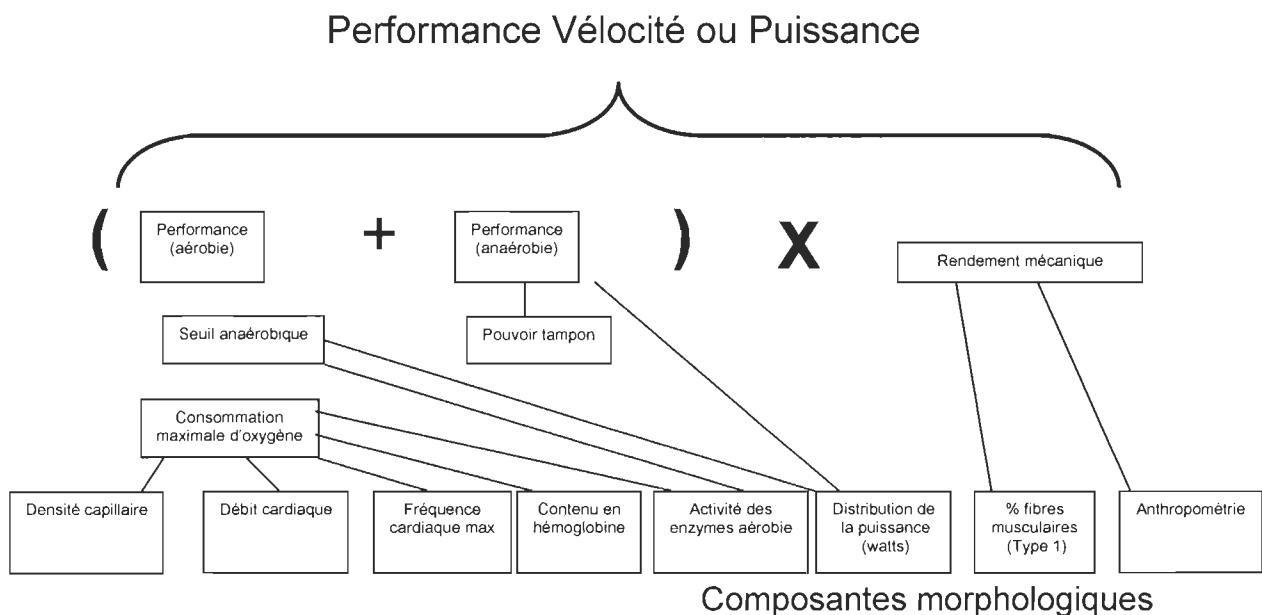


Figure 2-2 : Interactions des caractéristiques physiologiques et déterminants de la performance pour les athlètes d'endurance (Adapté de Joyner et Coyle, 2008)

En prenant en considération les déterminants de la performance et le profil physiologique du VTT (composition corporelle, VO_2 max, seuil lactique, économie de mouvement), il a été observé qu'en général les caractéristiques physiologiques des athlètes spécialistes du VTT, comparativement aux cyclistes de route, étaient similaires (Wilber, Zawadzki et al. 1997; Impellizzeri, Sassi et al. 2002; Lee, Martin et al. 2002; Stapelfeldt, Schwirtz et al. 2004; Impellizzeri, Marcra et al. 2005; Impellizzeri and Marcra 2007). Les valeurs de VO_2 max rapportées dans la littérature pour des vététistes de haut niveau sont semblables à celles estimées par Padilla et coll. (Padilla, Mujika et al. 1999) qui ont mesuré des valeurs de 80,9 ml/kg/min chez des cyclistes de route spécialistes de la montagne et de 78,9 ml/kg/min pour des cyclistes qui ont des habiletés pour tous types de terrain. Une recherche plus approfondie a montré qu'une grande consommation d'oxygène (VO_2) et une capacité à maintenir un haut niveau de travail aérobie sous-maximal (seuil lactique) sont des déterminants importants pour exceller en VTT de compétition (Impellizzeri, Marcra et al. 2005). Des études ont rapporté des valeurs de VO_2 max entre 66,5 et 78,3 ml/kg/min pour des vététistes de niveau élite et de niveau international (Lucía, Joyos et al. 2000; Lee, Martin et al. 2002) (Tableau 2-2). La consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) est considérée comme étant un prédicteur valide de la fonction cardiovasculaire et musculaire squelettique lors de tests d'effort pour le succès en sports d'endurance (Bassett and Howley 2000).

Tableau 2-2 : Consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max) et caractéristiques anthropométriques des vététistes rapportées dans la littérature (Tiré de Impellizzeri et Marcora, 2007)

Study (year)	Competitive level	n	Height (cm)	Mass (kg)	$\dot{V}O_{2\text{max}}$ (mL/kg/min)
Impellizzeri et al. (2005) ^[26]	Elite, high level	12	176 ± 7	66 ± 6	76.9 ± 5.3
Lee et al. (2002) ^[27]	High level	7	178 ± 7	65 ± 7	78.3 ± 4.4
Impellizzeri et al. (2005) ^[28]	Elite	13	177 ± 8	65 ± 6	72.1 ± 7.4
Nishii et al. (2004) ^[29]	Elite	8	170 ± 6	64 ± 7	67.8 ± 5.8
Stapelfeldt et al. (2004) ^[7]	Elite	9	180 ± 6	69 ± 5	66.5 ± 2.6
Warner et al. (2002) ^[30]	Elite	16	178 ± 5	71 ± 5	67.4 ± 4.6
Impellizzeri et al. (2002) ^[6]	Elite	5	175 ± 3	64 ± 5	75.9 ± 5.0
Baron (2001) ^[31]	Elite	25	179 ± 5	69 ± 7	68.4 ± 3.8
Wilber et al. (1997) ^[32]	Elite	10	176 ± 7	72 ± 8	70.0 ± 3.7
Cramp et al. (2004) ^[33]	Amateur	8	179 ± 6	69 ± 8	60.0 ± 3.7
MacRae et al. (2000) ^[34]	Amateur	6	180 ± 7	77 ± 4	58.4 ± 2.3
Berry et al. (2000) ^[35]	Amateur	8 (1 female)	178 ± 7	72 ± 8	56.6 ± 5.2

Le VTT nécessite de l'endurance et la capacité d'effectuer des efforts plus ou moins brefs à haute puissance. Ceci implique que les vététistes doivent à plusieurs reprises solliciter les filières énergétiques anaérobies sur les parcours de compétition. Par conséquent, le succès des courses de VTT dépend en grande partie de la capacité du sujet à déployer de la puissance et de la capacité anaérobies (Faria, Parker et al. 2005; Impellizzeri and Marcora 2007). De plus, les exigences d'un départ de course nécessitent un pic de puissance élevé afin d'obtenir une position favorable à l'avant du peloton de tête, pour éviter d'être retardé par des concurrents moins rapides dans les sections qui demandent un niveau d'habileté techniques élevée.

Dans notre étude préliminaire, à cause du relief accidenté du terrain, on a observé des variations de puissance de travail variant de 0 W (descentes) à 1038 W (montées abruptes et courtes) dans des intervalles de temps très rapprochés lors de l'analyse du parcours de St-Félicien (QC, Canada) (figure 1) . Ces résultats corroborent ceux de Stapelfeldt et al. qui ont observé de hautes variations et oscillations de l'ordre

de 69% de la moyenne de puissance obtenue durant la course (Stapelfeldt, Schwirtz et al. 2004). Ces derniers auteurs ont aussi enregistré durant de courtes périodes des puissances de travail au-dessus de 1000 W. Il convient de dire que notre sujet a généré une puissance de 700 W (189% PAM) et plus sur de courtes durées. Ces données indiquent que les filières énergétiques anaérobies alactiques et lactiques ont été sollicitées à plusieurs reprises durant le parcours de compétition réalisé par notre sujet dans l'étude préliminaire.

D'autre part, les caractéristiques anthropométriques du vététiste sont très semblables à celles du cycliste sur route spécialiste en montée (Wilber, Zawadzki et al. 1997; Impellizzeri, Sassi et al. 2002; Lee, Martin et al. 2002; Prins, Terblanche et al. 2007). Par contre, le tableau 3 de Lee et coll. indique que la taille et l'âge ne diffèrent pas entre les vététistes et les cyclistes de route élites, mais que les vététistes sont significativement plus légers et plus maigres (Lee, Martin et al. 2002). La taille moyenne des vététistes de compétition se situe entre 176 cm et 180 cm (Impellizzeri and Marcora 2007). Le poids moyen de vététistes finalistes aux Jeux olympiques d'Athènes en 2004 ($n = 10$) était de $67 \text{ kg} \pm 4 \text{ kg}$ (Impellizzeri and Marcora 2007). Cette valeur est semblable à celles rapportées dans différentes études faites sur les vététistes de haut niveau (65-69 kg) (Lee, Martin et al. 2002; Impellizzeri, Marcora et al. 2005). La moyenne du pourcentage de graisse rapportée était légèrement sous 6,4% pour les vététistes de niveau international (Lee, Martin et al. 2002; Impellizzeri, Marcora et al. 2005) et entre 8,5% et 14,3% pour les vététistes élites (MacRae, Hise et al. 2000; Warner, Shaw et al. 2002; Wingo, Casa et al. 2004). Ces résultats permettent de voir une association entre la composition corporelle et le niveau de compétition. Il n'est pas surprenant qu'un vététiste avec un faible pourcentage de graisse ait un avantage,

parce que les parcours sont montagneux, sur les autres coureurs ayant un taux de gras plus élevé (Swain 1994). Le succès du vététiste est essentiellement fondé sur un ratio puissance/masse corporelle élevé (Lee, Martin et al. 2002) (tableau 2-3). Par conséquent, la planification d'entraînement devrait viser l'amélioration de la puissance de travail en valeur relative plutôt qu'en valeur absolue (Gregory, Johns et al. 2007).

Tableau 2-3 : Caractéristiques anthropométriques des vététistes et cyclistes de route. (Tiré de Lee et al., 2002).

	Mountain bikers		Road cyclists		% Absolute difference	d
Age (years)	24.4 ± 3.4	(21.0–30.2)	24.2 ± 4.9	(20.5–34.4)	1	0.04
Height (m)	1.78 ± 0.07	(1.66–1.87)	1.84 ± 0.03	(1.81–1.89)	3	0.99
Body mass (kg)	65.3 ± 6.5	(53.6–74.9)	74.7 ± 3.8	(68.0–79.3)	14*	1.32
Sum of 7 skinfolds (mm)	33.9 ± 5.7	(26.2–43.2)	44.5 ± 10.8	(32.5–64.2)	31*	1.06
Estimated body fat (%)	6.1 ± 1.0	(4.8–6.7)	7.9 ± 1.8	(5.9–11.3)	29*	1.06

Note: Sum of seven skinfolds covers the following sites: triceps, subscapula, biceps, supraspinale, abdominal, front thigh and medial calf. d = effect size.

* Significant difference between mountain bikers and road cyclists ($P < 0.05$).

Tableau 2-4 : Réponses à l'exercice maximal des vététistes et cyclistes de route. (Tiré de Lee et al., 2002).

	Mountain bikers		Road cyclists		% Absolute difference	d
W_{\max} (W)	413 ± 36	(355–455)	431 ± 12	(410–450)	4	0.66
W_{\max} (W·kg ⁻¹)	6.3 ± 0.5	(6.0–7.3)	5.8 ± 0.3	(5.4–6.3)	9*	1.15
$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ (l·min ⁻¹)	5.1 ± 0.5	(4.3–5.6)	5.4 ± 0.1	(5.2–5.6)	7	0.92
$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	78.3 ± 4.4	(74.5–87.0)	73.0 ± 3.4	(69.6–78.4)	7*	1.14
\dot{V}_E (l·min ⁻¹)	139 ± 24.0	(106–179)	149 ± 12.9	(129–160)	7	0.52
Economy (W·l ⁻¹)	91 ± 6	(80–97)	86 ± 4	(82–92)	6	0.94
Heart rate (beats·min ⁻¹)	189 ± 5	(181–194)	191 ± 9	(171–198)	1	0.16
Lactate (mmol·l ⁻¹)	10.1 ± 2.6	(7.6–14.5)	10.6 ± 1.4	(8.5–12.6)	5	0.22
pH	7.21 ± 0.03	(7.27–7.15)	7.25 ± 0.04	(7.29–7.19)	1	0.82

Note: W_{\max} = maximal power output, $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ = peak oxygen uptake, \dot{V}_E = peak ventilation, d = effect size.

* Significant difference between mountain bikers and road cyclists ($P < 0.05$).

Paddila et coll. ont étudié le profil des fréquences cardiaques durant un contre-la-montre en cyclisme de route (Padilla, Mujika et al. 2000). Le contre-la-montre a été réalisé à des intensités comprises entre 78 et 89% de la FCM enregistrée lors d'un test en laboratoire. Ces résultats démontrent que les fréquences cardiaques sont légèrement plus basses que celles observées en compétition de VTT, ce qui pourrait en partie être occasionné par un stress psychologique additionnel durant les descentes en compétition.

Adaptation périphérique de l'oxygénation du muscle squelettique

Est-ce que la capacité physique des athlètes est plafonnée par des facteurs centraux ou périphériques lors d'un entraînement fractionné (EPI)? Il est bien connu que les adaptations cardiovasculaires consécutives à l'entraînement physique en endurance facilitent l'amélioration de la libération de l'oxygène (O_2) pour les muscles squelettiques à l'effort (Jones and Poole 2005). Par contre, cinq principaux paramètres physiologiques présentent des facteurs limitatifs pour la consommation d' O_2 du muscle squelettique à l'effort (Richardson, Harms et al. 2000); 1- la diffusion de l' O_2 ambiant à l'hémoglobine (HbO_2) au niveau pulmonaire (% SpO_2), 2- le débit cardiaque (DC), 3- le transport de l' O_2 aux muscles actifs, 4- l'extraction de l' O_2 de la circulation sanguine vers la myoglobine musculaire (MbO_2) et 5- la capacité d'utilisation de l' O_2 par les mitochondries des fibres musculaires pour soutenir la charge de travail. Ces facteurs limitatifs sont très variables d'un individu à l'autre. Certains athlètes peuvent démontrer des problèmes de saturation ($\downarrow %SpO_2$) alors que d'autres peuvent être limités au niveau du débit cardiaque à haute intensité (Bassett and Howley 2000). La littérature ne fait pas état de méthodologies concrètes visant à diagnostiquer de façon

systématique ces facteurs limitants lors d'entraînements EPI. Par contre, nos études préliminaires effectuées à l'UQTR nous ont permis d'observer que, chez certains athlètes, le muscle squelettique ne semble pas démontrer de problèmes à extraire l'O₂ de la circulation sanguine, mais qu'il semble plutôt assujetti à une réduction du débit sanguin, ce qui limiterait sa capacité à s'approvisionner en sang et en O₂ à une puissance au-delà du seuil lactique (Lepretre, Foster et al. 2005). Cette limite à approvisionner le muscle en O₂ demeure encore énigmatique, mais elle pourrait être la conséquence d'une défaillance au niveau du débit cardiaque, de la régulation vasculaire locale ou d'une résistance vasculaire trop élevée dans le muscle squelettique en action. Ainsi, en utilisant une mesure de spectrométrie dans le proche infrarouge (NIRS : Portamon, Artinis Medical, Utrecht, Neatherlands) et une de bio-impédance (Physio Flow : Manatec Biomedical, Macheren, France) dans cette étude, nous serons en mesure de mieux comprendre les fonctions physiologiques qui réagissent aux stimuli de l'EPI, dans le but de mieux apprécier la plasticité des adaptations centrales et périphériques, ce dans l'espoir d'améliorer le calibrage des zones d'entraînement et la performance.

Fonctions cardiaques à l'effort

Un des effets de l'entraînement en endurance est l'augmentation du débit cardiaque (Astrand et Rodahl, 1986). Le débit cardiaque (DC) est le volume de sang éjecté par minute par chaque ventricule, exprimé en ml/min. Le volume d'éjection systolique (VES) est la quantité de sang éjecté par chaque ventricule à chaque contraction du cœur. Le débit cardiaque est le produit du volume d'éjection systolique (VES) par la fréquence cardiaque (FC), dont la formule est DC (ml/min) = FC (bpm) x VES (ml/min).

Au repos, le débit cardiaque de sujets entraînés se situe entre 5 et 6 l/min. Par contre, le débit cardiaque maximal se situe aux environs de 20 à 25 l/min chez les personnes entraînées et peut atteindre jusqu'à 40 l/min pour des athlètes de haut niveau (Ekblom and Hermansen 1968). Ceci représente une valeur de 5 à 6 fois celle du repos. Le VES chez l'athlète au repos varie de 100 à 120 ml et de 150 à 170 ml lors de l'effort maximal (Ekblom and Hermansen 1968). Une revue de littérature rapporte des écarts du volume d'éjection systolique maximal assez considérables, de l'ordre de 122 à 183 ml par battement chez des personnes entraînées (Vella and Robergs 2005). Traditionnellement, il a été admis que, lors d'un effort progressif, le volume d'éjection systolique atteignait un plateau à 40% de la VO₂ max. Toutefois, de récentes recherches ont démontré que le volume d'éjection systolique pourrait augmenter de façon progressive jusqu'à l'atteinte de la VO₂ max (Gledhill, Cox et al. 1994), cela ne faisant pas l'unanimité dans la communauté scientifique. De ce fait, la réponse du volume d'éjection systolique peut être influencée par l'état d'entraînement, l'âge et le sexe.

Depuis la dernière décennie, un appareil qui utilise le principe de la bio-impédance, le Physio Flow (Physio Flow, Manatec Biomedical, Macheren, France), permet d'envoyer un courant électrique de très faible intensité à travers le corps dans la région du cœur et d'y mesurer la variation de volume des liquides à la sortie du cœur, au niveau de l'aorte. Cette méthode non invasive permet une mesure complète de la fonction du cœur, que ce soit au repos ou à l'exercice.

L'entraînement pour le VTT de compétition

Le VTT est reconnu comme étant un sport d'endurance où la force (couple Nm), la puissance de travail à la PAM et au seuil lactique, l'explosivité, l'endurance et la technique sont nécessaires pour réussir en compétition. Les méthodes d'entraînement ont évolué considérablement depuis le début des années 1950. Avec les évolutions technologiques, biomécaniques, techniques, tactiques et psychologiques, le niveau des performances sportives et les exigences du sport ne cessent d'augmenter. Pour espérer être compétitif à un niveau national ou international, la préparation de l'athlète doit être optimale afin qu'il soit en mesure de réaliser sa meilleure performance lors de la compétition visée. À cette fin, l'athlète doit d'abord développer sa capacité à produire une puissance relative élevée, c.-à-d. à un pourcentage élevé de sa PAM, voire à une puissance supra maximale. L'entraînement fractionné qui utilise des fractions d'efforts à haute intensité s'avère un moyen d'entraînement très utilisé par les entraîneurs et les athlètes.

L'entraînement fractionné et les adaptations physiologiques

L'EPI en cyclisme repose aujourd'hui sur des modèles qui sont mal ou très peu définis. La méthodologie utilisée est empirique et les adaptations centrales et périphériques ne sont pas encore scientifiquement bien cernées. Il existe peu de données précises sur la structuration des séances d'EPI qui favoriseront ces adaptations. Les modèles proposés font généralement référence à des temps d'exercice et de récupération qui sont très souvent égaux. Ainsi, afin de trouver le nombre de séries et de répétitions souhaités, les entraîneurs utilisent un processus qui fonctionne souvent par essai et erreur. Les entraîneurs et athlètes ont de la difficulté à déterminer le nombre de

répétitions qu'ils doivent prescrire et le font souvent de façon arbitraire. L'intensité de travail est aussi une notion qui est fixée avec une marge d'erreur variable d'un individu à l'autre. La difficulté à calibrer l'intensité sur le terrain reste un défi de taille pour les athlètes et entraîneurs.

Au cours du siècle passé, les physiologistes de l'exercice ont exercé une influence très limitée sur la préparation des athlètes. La plupart des recommandations sur les méthodes d'entraînement pour les sports de haut niveau sont venues de la part des entraîneurs par des observations empiriques issues du terrain (Wells and Pate 1988). Afin de maximiser le potentiel des athlètes et atteindre l'excellence, les entraîneurs ont recours à plusieurs méthodes et approches d'entraînement. Aujourd'hui, l'entraînement par intervalles (EPI) est un incontournable. Dans les années 1960, les premières études scientifiques sur le sujet sont apparues (Astrand, Astrand et al. 1960; Astrand, Astrand et al. 1960). Le chercheur Per Oløf Astrand fut le premier physiologue et scientifique à étudier et élaborer les concepts de l'entraînement par intervalles et à définir les principes de l'EPI, lequel consiste essentiellement en une ou plusieurs répétitions ou séries d'exercices soutenus, alternées avec des périodes de récupération dont l'intensité est légère ou modérée (Daniels and Scardina 1984; Costill 1986; Hawley 1995). La manipulation de l'intensité et de la durée des intervalles de travail et de repos modifie la demande de l'apport en oxygène aux muscles (Holloszy and Coyle 1984).

Tabata et coll. ont comparé les effets d'un entraînement traditionnel sur ergocycle, d'une durée de 60 minutes à intensité modérée, 5 fois par semaine pendant 6 semaines, à ceux d'un entraînement par intervalles courts, constitués de 7 à 8 fractions d'efforts intenses (170% de la PAM) pour une durée de 20 secondes, alternés

avec des périodes de récupération de 10 secondes, à raison de 5 fois par semaine pendant 6 semaines (Tabata, Irisawa et al. 1997). La consommation maximale d'oxygène ($\text{VO}_2 \text{ max}$) a évolué de 53 à 58 ml/kg/min chez les 7 sujets effectuant l'entraînement de type continu, alors qu'elle est passée de 48 à 55 ml/kg/min chez les 7 sujets qui ont effectué l'entraînement fractionné. Ces derniers résultats ont été observés en dépit du fait que le volume total d'entraînement du second groupe était nettement inférieur à celui du premier. La capacité anaérobique n'avait pas augmenté chez les sujets soumis à l'entraînement continu prolongé, alors qu'elle avait augmenté de 28% parmi ceux qui ont pratiqué l'entraînement par intervalles courts. L'entraînement par intervalles courts aurait donc un effet similaire sur l'amélioration de la VO_2 , mais aurait aussi un meilleur effet que l'entraînement continu sur le développement de la capacité anaérobique.

Une recherche de Stepto et al. permet également de conclure qu'un protocole d'entraînement supra maximal, qui comprend 12 bouts d'efforts de 30 s à 175% de la PAM entrecoupés de 4,5 minutes de récupération active à faible intensité, permet aussi d'améliorer le $\text{VO}_2 \text{ max}$, la PAM et la performance lors d'une épreuve chronométrée de 40 km sur la route (Stepto, Hawley et al. 1999). Farjani et Laursen ont relevé des améliorations de la $\text{VO}_2 \text{ max}$ et de la performance de coureurs à pied sur une distance de 3000 mètres après avoir effectué des séances d'EPI à intensité maximale (100% de la PAM) et supra maximale (130% de la PAM) (Esfarjani and Laursen 2007). L'EPI a permis d'améliorer la performance sur un contre-la-montre (CLM) d'une distance de 40 kilomètres en vélo de route (+ 2,1 à 4,5%) (Lindsay, Hawley et al. 1996; Westgarth-Taylor, Hawley et al. 1997; Weston, Myburgh et al. 1997; Stepto, Hawley et al. 1999). Certaines variables ont provoqué des changements significatifs sur le seuil ventilatoire

(Acevedo and Goldfarb 1989) et la PAM (Lindsay, Hawley et al. 1996; Westgarth-Taylor, Hawley et al. 1997; Weston, Myburgh et al. 1997; Stepto, Martin et al. 2001) suite à un programme d'entraînement en EPI chez les cyclistes. Le tableau 2-5, tiré de Laursen et Jenkins (Laursen and Jenkins 2002), résume certains résultats obtenus pour différentes méthodes d'EPI.

MacDougall et coll. (MacDougall, Hicks et al. 1998) ont d'ailleurs rapporté d'étonnantes améliorations de l'aptitude aérobique avec des séances d'entraînement de seulement 4 à 8 sprints d'aussi peu que 30 et même 10 secondes.

Tableau 2-5 : Résumé des résultats de certaines études conduites sur l'EPI à haute intensité chez les cyclistes très entraînés.

Reference	n	HIT sessions	Reps	Intensity (% P_{peak})	Work duration	Rest duration	HIT duration (wk)	Results
Lindsay et al. ^[63]	8	6	6-8	80	5 min	60 sec	4	$\uparrow P_{\text{peak}}, \uparrow T_{\text{TF}_{150}}, \uparrow T_{\text{TT}_{40}}$
Weston et al. ^[7]	6	6	6-8	80	5 min	60 sec	4	$\uparrow P_{\text{peak}}, \uparrow T_{\text{TF}_{150}}, \uparrow T_{\text{TT}_{40}}, \uparrow \beta, \leftrightarrow \text{HK}, \leftrightarrow \text{PFK}, \leftrightarrow \text{CS}, \leftrightarrow 3\text{-HCoA}$
Westgarth-Taylor et al. ^[80]	8	12	6-9	80	5 min	60 sec	6	$\uparrow P_{\text{peak}}, \uparrow T_{\text{TT}_{40}}, \downarrow \text{CHO}_{\text{ox}}$
Stepto et al. ^[81]	4	6	4	80	8 min	1 min	3	\leftrightarrow
Stepto et al. ^[81]	4	6	8	85	4 min	1.5 min	3	$\uparrow P_{\text{peak}}, \uparrow T_{\text{TT}_{40}}$
Stepto et al. ^[81]	4	6	12	90	2 min	3 min	3	\leftrightarrow
Laursen et al. ^[82]	7	4	20	100	1 min	2 min	2	$\uparrow P_{\text{peak}}, \uparrow T_{\text{vent}}, \uparrow T_{\text{TF}_{100}}$
Stepto et al. ^[81]	3	6	12	100	1 min	4 min	3	\leftrightarrow
Stepto et al. ^[81]	4	6	12	175	30 sec	4.5 min	3	$\uparrow P_{\text{peak}}, \uparrow T_{\text{TT}_{40}}$

a Changes indicated based on statistical significance at the $p < 0.05$ level.

3-HCoA = 3-hydroxyacyl coenzyme A dehydrogenase activity; CHO_{ox} = carbohydrate oxidation rates; CS = citrate synthase activity; HK = hexokinase activity; n = number of participants; PFK = phosphofructokinase activity; P_{peak} = peak aerobic power output; Reps = repetitions; TF₁₀₀ = time to fatigue at 100%; TF₁₅₀ = time to fatigue at 150% of P_{peak} ; TT₄₀ = 40km time-trial performance; T_{vent} = ventilatory threshold; β = buffering capacity; ↓ = decrease; ↑ = increase; ↔ = no change.

L'EPI améliore de façon significative la capacité de performance en endurance.

En conclusion, les améliorations induites par l'EPI à intensité supra maximale ont fait leurs preuves. De ce fait, Laursen et Jenkins (2002) ont confirmé ces améliorations de

la performance en publiant leur revue complète des écrits sur les méthodes d'entraînement EPI des athlètes élites.

3. PROBLÉMATIQUE

L'analyse des puissances de travail, recueillies par notre laboratoire à l'aide de capteurs de puissance Powertap SL+ installés sur les vélos d'un athlète sur le parcours du championnat canadien 2009 en vélo de montagne, nous a permis de mieux apprécier les exigences physiologiques pour exceller dans ce sport. À la lumière des données recueillies sur le terrain, il est logique de développer en laboratoire des tests d'effort qui répondent aux exigences des épreuves de vélo de montagne. De plus, il est de mise de mesurer la capacité des athlètes à répondre à des entraînements de haute intensité (EPI), qui sont spécifiques aux exigences du terrain, afin de déceler leurs forces et faiblesses physiologiques spécifiques. Une seconde question réside dans le dosage et l'agencement des intensités d'efforts et de récupération lors de séances d'entraînement fractionné ou par intervalle (EPI). Les plus récentes recherches démontrent que, pour une puissance relative de travail identique, le pourcentage d'utilisation de la consommation d'oxygène maximale ($\text{VO}_2 \text{ max}$) et le débit cardiaque DC) sont très variables d'un athlète à l'autre, et ce, d'autant plus si l'intensité des intervalles de récupération est modulée. Par exemple, un entraînement fractionné utilisant des répétitions d'efforts d'une durée de 60 sec à 100% de la $\text{VO}_2 \text{ max}$ jusqu'à épuisement, alternant avec des répétitions de récupération à 50%, ne sollicitera que très peu la $\text{VO}_2 \text{ max}$, alors qu'une intensité de récupération supérieure à 60-70% sera beaucoup plus efficace. Il est important, non seulement, de décrire les forces et les faiblesses des athlètes, mais nous jugeons aussi pertinent de tester la réponse physiologique à des entraînements intenses qui sont calibrés selon les exigences de la topographie et du rythme des compétitions. L'objectif est d'optimiser les EPI pour qu'ils

correspondent à certains types de fraction d'effort que doit réaliser l'athlète pendant la compétition.

4. QUESTIONS DE RECHERCHE

- 1- Est-ce qu'un programme d'entraînement fractionné à haute intensité améliore la performance sur un parcours virtuel conçu en fonction des efforts physiques déployés sur le terrain? Le programme d'entraînement a amélioré de façon significative la performance des cyclistes sur le parcours virtuel.
- 2- Est-ce qu'un programme d'entraînement fractionné à haute intensité améliore la fonction cardiaque et l'oxygénation du muscle *vastus lateralis*, fortement sollicité chez l'athlète en VTT? Le programme d'entraînement n'a pas amélioré de façon significative la fonction cardiaque et l'oxygénation du muscle *vastus lateralis*.
- 3- Est-ce qu'un programme d'entraînement fractionné à haute intensité améliore la puissance de travail associée au seuil lactique? Le programme d'entraînement a amélioré de façon significative la performance au seuil lactique.

5. HYPOTHÈSE EXPÉRIMENTALE

Nous émettons l'hypothèse qu'un programme d'entraînement à haute intensité accroît la consommation maximale d'oxygène et la puissance de travail au seuil lactique, par des changements physiologiques qui accroissent le débit sanguin et l'extraction de l'oxygène du muscle *vastus lateralis*. Nous émettons l'hypothèse qu'un programme HIT augmentera le débit cardiaque, la consommation d'oxygène maximale et la puissance au seuil lactique concurremment avec l'augmentation du débit sanguin, la saturation et l'extraction de l'oxygène dans le muscle vaste latéral.

6. MÉTHODOLOGIE

Sujets

Les sujets recrutés pour l'étude sont onze (11) vététistes de compétition, ayant au moins 18 ans, sélectionnés par l'entraîneur de l'équipe québécoise de vélo de montagne et membres actifs de leur fédération sportive pour l'année en cours. Les sujets doivent démontrer une consommation maximale d'oxygène ($\text{VO}_2 \text{ max}$) de plus de 55 ml par $\text{Kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ pour être retenus dans cette étude. L'établissement d'un seuil limite d'acceptation et d'un minimum d'expérience de compétition est nécessaire pour assurer une certaine homogénéité parmi les sujets et favoriser ainsi la réussite de l'étude. Généralement, les athlètes de haut niveau qui ont de grandes consommations d'oxygène ont l'habitude de travailler à des intensités de travail aussi élevées que celles demandées dans la présente étude et lors de compétitions. Une sélection préalable est effectuée par l'entraîneur responsable de l'équipe de vélo de montagne du Québec, parmi les athlètes qu'il entraîne, selon les résultats de leurs évaluations antérieures. Les athlètes ainsi sélectionnés, s'ils sont intéressés à participer, doivent d'abord remplir la fiche d'information du participant et le *Questionnaire d'Aptitude à l'Activité Physique* (Q-AAP) afin d'assurer qu'ils ne présentent pas de contre-indication à poursuivre l'évaluation. Ensuite, l'évaluation de leur $\text{VO}_2 \text{ max}$ en laboratoire, qui constitue la première étape du protocole expérimental, sert également de validation finale pour confirmer leur admissibilité à l'étude. L'étude a été réalisée dans une période de préparation générale en début de saison, dans une période de temps où les sujets n'étaient pas à leur plein potentiel physique.

Déroulement de l'étude et tâches expérimentales

Les vététistes sont initialement contactés par leur entraîneur, qui les convoque à une rencontre avec l'équipe de recherche, où le projet leur est présenté par l'équipe elle-même. Les vététistes qui souhaitent participer au projet sont invités à remplir la fiche d'information et sont par la suite contactés directement par les chercheurs pour la poursuite de l'étude. Chaque participant doit également consentir à la recherche par un formulaire de consentement éclairé. Ce formulaire présente le but de la recherche, les tests effectués, et il fait également état des risques et des bénéfices relatifs à la participation à cette étude. Ce questionnaire doit être rempli et signé à une seule occasion, soit lors de la première présence au laboratoire. Une entrevue pré-participation, d'une durée de 15 minutes, est réalisée avec chaque participant, dans le but de déterminer le profil du cycliste (antécédents sportifs) ainsi que son aptitude à participer à l'étude. Cette étape permet également d'expliquer en détail le contenu de l'étude à venir ainsi que de répondre aux questions du participant.

Mesures anthropométriques

Lors de la première visite des sujets au laboratoire, différentes mesures anthropométriques sont effectuées: taille, poids corporel et le pourcentage de masse adipeuse (Jackson and Pollock 1977). Ces mesures contribuent à compléter le profil de l'athlète et permettent d'avoir un suivi tout au long de l'étude.

Test de puissance maximale aérobie (PAM et VO₂ max)

Ce test consiste à déterminer la consommation maximale d'oxygène du sujet (VO₂ max) et sa puissance aérobie maximale en watts.



Figure 2.3 : Dynamo électromagnétique (Racermate, Computrainer Lab, Seattle, WA, USA) et pneu Tacx (T1390).

Ce test permet de connaître la quantité maximale d'oxygène en litres que l'organisme peut utiliser lors d'un effort qui croît en intensité. De plus, la VO₂ max relative s'exprime en millilitres d'oxygène utilisé par minute par rapport à la masse corporelle ($\text{mlO}_2 \text{ par } \text{Kg}^{-1}\text{min}^{-1}$). À partir de cette évaluation, nous estimons la puissance aérobie maximale (PAM) en watts que l'athlète a atteinte et qui sert à déterminer et relativiser les charges de travail pour les tests subséquents. Le test s'effectue en branchant le vélo personnel des sujets à un dynamo électromagnétique (Racermate, Computrainer Lab, Seattle, WA, É.-U.) en utilisant un capteur de puissance monté sur une roue Powertap SL+ (Saris Cycling Group, Madison, WI, USA) et un pneu Tacx (T1390) conçu spécialement pour ce type d'appareil (figure 2-3). On peut donc gérer les conditions du test et ainsi le rendre reproductible. Cet appareillage a été validé dans les études évaluant la performance chez les cyclistes (Cane, Seidman et al. 1996;

Westgarth-Taylor, Hawley et al. 1997; Weston, Myburgh et al. 1997; Laursen and Jenkins 2002) L'utilisation du vélo personnel des sujets limite les risques encourus par l'utilisation d'un ergocycle dont l'ajustement ne conviendrait pas aux variables anthropométriques de chaque sujet. La mesure de la consommation d'oxygène est déterminée par l'analyse des gaz pulmonaires, moyennée toutes les 30 secondes, à l'aide d'un analyseur métabolique (*Moxus AEI*, Pittsburg, IL.). Plus précisément, le VO₂ max et la PAM sont obtenus de façon progressive en accroissant la charge de travail de 30 W à toutes les 8 minutes, le régime étant composé d'une période en charge de 5 minutes suivie d'un intervalle de récupération à une intensité faible (1Watts/kg de poids corporel) de 3 minutes. L'utilisation de paliers de 5 minutes permet d'obtenir une stabilisation des paramètres mesurée contrairement à certains tests qui ont des durées inférieures. Le test se termine lorsque le sujet n'est plus en mesure de maintenir sa cadence initiale préalablement choisie (~ 90-100rpm). Les critères d'atteinte de la VO₂ max sont les suivants : 1- un plafonnement (+/- 150 ml) de la VO₂ même si la puissance de travail est augmentée. 2- un quotient d'échange respiratoire >1,1. 3- une fréquence cardiaque ≥ 90% de la FC maximale estimée (220-âge). 4- une lactatémie de plus de 8mM. À la fin du test maximal progressif, nous obtenons la puissance aérobie maximale (PAM) ainsi que, la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max). La fréquence cardiaque est transmise par télémétrie et enregistrée à l'aide d'un cardiofréquencemètre (Polar S 810i). Le sujet peut se soustraire au test ou à la procédure à tout moment pendant le déroulement de l'étude.

La saturation en oxygène (%SpO₂) est évaluée à l'aide d'un appareil portatif non invasif disposé autour d'un doigt (PC-60C Fingertip Pulse Oximeter, PA, E.U.). Le volume d'éjection systolique (VES), le débit cardiaque (DC) et le temps d'éjection du

sang ventriculaire (LVET) sont mesurés à l'aide d'un appareil validé (Richard, Lonsdorfer-Wolf et al. 2001) et non invasif qui fonctionne par bio-impédance (Physio Flow, Manatec Biomedical, Macheren, France). Cet appareillage a été validé dans une étude évaluant la performance chez les cyclistes. Les électrodes sont placées sur le thorax, tel qu'indiqué à la figure 4. Deux électrodes (rouge et orange) sont utilisées pour capter une dérivation de l'ECG afin de mesurer la fréquence cardiaque et quatre électrodes sont utilisées pour visualiser le signal d'impédance. Pour un meilleur fonctionnement de l'appareil, le sujet doit se raser et nettoyer la peau avec un gel exfoliant avant d'appliquer les électrodes. Les positions recommandées des électrodes sont : blanc et bleu à la base du cou (triangle latéral du cou), vert et noir au niveau de l'appendice xiphoïde (figure 2-4). Les fils des câbles sont fixés sur la peau du sujet avec du ruban adhésif médical (Hypafix, BSN Mediocal) afin d'éviter que certaines électrodes perdent contact avec la peau en raison de la sueur lors de l'effort. Une procédure de calibrage doit toujours être effectuée selon les recommandations du fabricant avant chaque expérience.

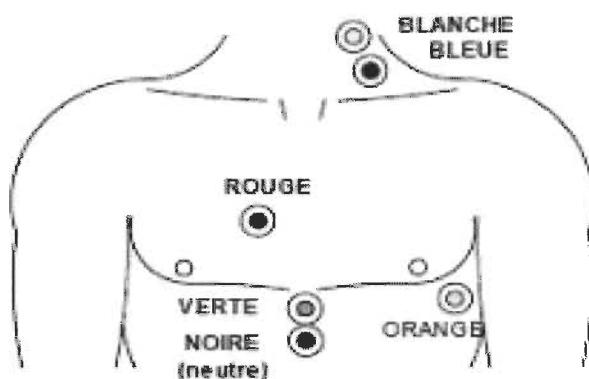


Figure 2-4 : Position des électrodes sur le thorax pour mesure par l'appareil Physio Flow.

L'estimation de la mesure de la consommation d'oxygène et du volume sanguin périphérique du muscle vaste latéral se fera de façon non invasive à l'aide d'une technique appelée spectrométrie infrarouge, ou NIRS (Portamon, Artinis Medical system BV, Utrecht Area). Les paramètres couramment mesurés par le NIRS sont l'oxyhémoglobine (O_2Hb), la déoxyhémoglobine (HHb), l'hémoglobine totale (tHB) et la saturation en oxygène (TSI%) du vaste latéral. Le désoxyhémoglobine (HHb) représente l'équilibre entre l'apport d' O_2 dans le muscle et son absorption dans la circulation sanguine dans le but d'estimer la capacité du muscle squelettique à consommer de l'oxygène à l'effort. Le NIRS envoie un faisceau lumineux à travers les tissus, lequel est en partie absorbé, notamment par l'hémoglobine et la myoglobine présentes dans le système artériel, les capillaires et les veinules et le tissu musculaire investigué. Le NIRS est placé à plat sur le vaste latéral, à mi-chemin entre l'épicondyle et le grand trochanter du fémur, fixé sur la peau avec du ruban adhésif et inséré dans une enveloppe de plastique protectrice et imperméable. Le vaste latéral a été choisi parce qu'il est le plus sollicité dans l'action de pédalage et c'est celui qui est couramment mesuré dans la littérature (Bhambhani, Buckley et al. 1997; Neary, Hall et al. 2001). Afin d'éviter la pénétration de toute lumière externe pouvant nuire à l'enregistrement des données par le NIRS, ce dernier a été recouvert en entier d'un bandage élastique noir ne gênant pas les mouvements de pédalage des sujets. En utilisant une onde spectroscopique proche de l'infrarouge continu, qui génère de la lumière à 905, 850 et 770 nm, il est possible de différencier l'oxyhémoglobine (O_2Hb) et la déoxyhémoglobine (HHb) (Bhambhani, Buckley et al. 1999). Chance et al. ont été les premiers, en 1985, à étudier la disponibilité de l' O_2 dans le muscle à l'aide du NIRS (Chance, Leigh et al. 1985). Au cours des dernières années, plusieurs autres groupes

ont appliqué cette technique (Sahlin 1992; Belardinelli, Barstow et al. 1995; Bhamhani, Buckley et al. 1997; Sako 2010).

La fréquence cardiaque sera transmise par télémétrie et enregistrée à l'aide d'un cardiofréquencemètre (Polar S 810i).

Test de puissance de 320 mètres

Ce test consiste à effectuer une distance virtuelle de 320 mètres sur vélo personnel à l'aide d'un dynamo électromagnétique de puissance (Racermate, Computrainer Lab, Seattle, WA, É.-U.) Les sujets doivent développer le plus de puissance possible à partir d'un départ arrêté. Ce test de 320 mètres, inspiré du test de Wingate, permet d'estimer en partie la sollicitation des systèmes énergétiques anaérobies (Bar-Or 1987; Bouchard 1991). À l'issue du test, les résultats recueillis sont la puissance de travail (Watts) la plus élevée sur 5 secondes (McGawley and Bishop 2006), la puissance moyenne et la puissance obtenue à la fin du test sur la distance de 320 mètres. Ces données permettent d'obtenir un indice de fatigue et la puissance moyenne relativisée par rapport au poids corporel ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$). Les sujets ont réalisé un test préalable de familiarisation.

Test de performance de 13.2 kilomètres

Les sujets effectueront une simulation de course sur un parcours virtuel de 13,2 kilomètres (2×6.6 kilomètres), programmé dans le logiciel du dynamo électromagnétique (Racermate, Computrainer Lab, Seattle, WA, É.-U.) comportant des montées et des descentes. Ce parcours virtuel a été conçu et programmé à partir d'une

collecte de données prises sur le terrain du parcours du championnat canadien tenu à St-Félicien en 2009 (Québec). Le parcours a été créé à partir des informations de distance et de dénivelé obtenues à l'aide d'une montre GPS Garmin (Forerunner 305 GPS, Olathe, KS, É.-U) et d'un capteur de puissance monté sur une roue Powertap SL+ (Saris Cycling Group, Madison, WI, USA) (figure 2-5). La résistance au pédalage, générée par le système, s'applique directement au niveau de la roue arrière. Le cycliste ajustait lui-même l'intensité d'exercice en sélectionnant la fréquence de pédalage et le développement des braquets qui lui semblaient les mieux adaptés. Le dynamo électromagnétique simule alors un exercice proche de celui réalisé à l'entraînement ou lors de compétitions. Ce test, d'une durée d'environ 35 minutes, permet de connaître le niveau d'endurance aérobie et de performance de l'athlète (Jeukendrup, Saris et al. 1996; Bishop 1997). L'endurance aérobie se qualifie par l'aptitude qu'a l'athlète à maintenir un haut pourcentage de son VO_2 max ou de sa PAM au cours d'une épreuve d'une durée donnée. Les résultats suivants sont recueillis au mi-parcours et à la fin de l'épreuve : 1- la puissance moyenne sur les 13,2 kilomètres (Watts), 2- la puissance moyenne normalisée par rapport au poids de corps ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$), 3- le temps réalisé pour parcourir la distance, 4- la fréquence de pédalage moyenne en révolutions par minute (rpm), 5- la fréquence cardiaque, la lactatémie et la puissance maximale développée. Les sujets ont accompli un test préalable de familiarisation.

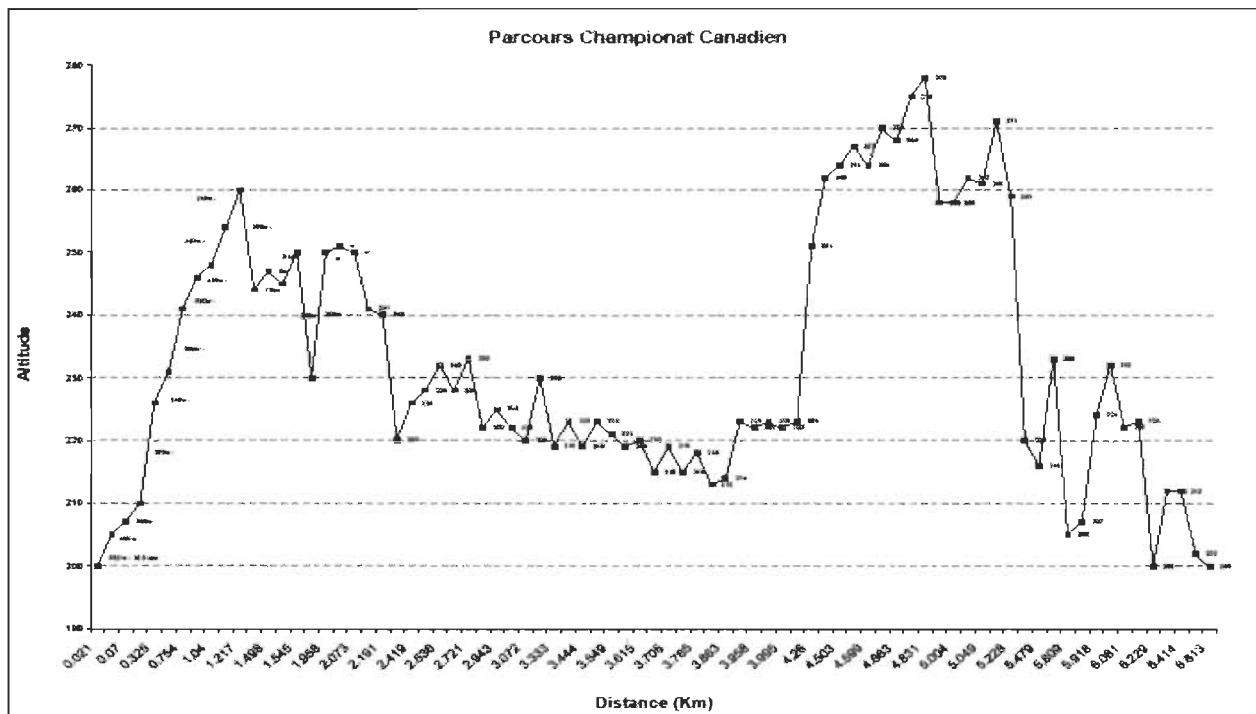


Figure 2-5 : Distances et dénivelés du parcours de St-Félicien reproduits à l'aide d'une montre GPS Garmin.

Entraînement et suivi de l'entraînement

Les sujets doivent réaliser 8 séances d'entraînement supervisées en laboratoire à des intensités supra maximales équivalant à 115% de leur PAM en plusieurs fractions d'efforts consécutifs qui s'ajouteront tout au long du programme d'entraînement. Le protocole d'entraînement par intervalle (EPI) a été conçu à la lumière de nos résultats préliminaires acquis à St-Félicien tel que mentionné précédemment. Nous avons observé que le parcours présentait fréquemment des séquences d'effort courtes (18 secs) à 115% de la PAM, immédiatement suivies de séquences d'effort (44 secs) de remise en rythme à une intensité sous maximale. Ainsi, un ratio de temps de charge de 20 secondes d'intensité supra maximale à 115% de la PAM, suivies de 40 secondes de récupération active à environ 50% PAM (20-40), a été créé. Le programme d'entraînement s'étalonnait sur 4 semaines. L'intensité des séances d'entraînements

était fixée en fonction des résultats obtenus lors du test de PAM. La durée des séances d'entraînement variait à travers les semaines. Un échauffement de 15 minutes à faible intensité accompagné de quelques brèves accélérations était réalisé avant de débuter chaque séance d'entraînement. La première semaine débutait par 60 minutes et était allongée de 15 minutes d'effort par semaine pour atteindre une durée maximale de 90 minutes. La semaine 4 est diminuée à 60 minutes afin de permettre aux sujets de s'adapter et de récupérer du cycle d'entraînement afin mesurer les adaptations physiologiques du programme d'entraînement. Le nombre de répétitions est déterminé à partir de la durée totale des entraînements. Le tableau 2-6 illustre le protocole expérimental (8 séances) de cette étude et la progression des durées d'entraînement sur une période de 4 semaines. La séquence des tests en pré et en post était respectée tout au long de l'étude. Tous les sujets maintenaient à jour un carnet d'entraînement dans lequel étaient reportés quotidiennement le volume horaire et l'intensité de leur séance afin d'éviter que les séances d'entraînements non-supervisé se réalisent à des intensités qui ne génèrent pas trop de fatigue supplémentaire.

Tableau 2-6 : Représentation schématique du protocole expérimental de cette étude et de la progression des durées d'entraînement sur une période de 4 semaines.

Phase 1	Phase 2				Phase 3
Pré-tests	Entraînement (mode *20 -**40)				Post-tests
Semaine 1-2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7-8
Tests 1-2-3			2 x 90 minutes		
		2 x 75 minutes			
	2 x 60 minutes			2 x 60 minutes	
					Tests 1-2-3
	60 reps	75 reps	90 reps	60 reps	

1 : test de 320 mètres ; 2 : test PAM ; 3 : test de performance virtuel de 13.2 km

*20 secondes : 115% de la PAM

**40 secondes : 50% de la PAM

7. ARTICLE

Effects of a high intensity interval training at 115% of MAP on performance, cardiac output and skeletal muscle oxygenation in mountain bike cyclists

P. Dufresne, S. Bergeron-Vaillancourt, A. Bonal, L. Laurencelle and C. Lajoie*

Département des sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, QC, G9A 5H7

* Corresponding author: Université du Québec à Trois-Rivières, Département des sciences de l'activité physique.

This research was founded by Centre National Multisports Montréal (CNMM)

7.1 Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of a high-intensity interval training (HIT) program on cycling performance, cardiac output (Q) and skeletal muscle oxygenation in mountain bike cyclists.

Methods

Eleven trained male cyclists completed 4 laboratory visits before HIT program : for determining VO₂ max, for virtual time-trial performance test (TTT), for power-test, and finally after 8 sessions of HIT. The HIT protocol consisted in performing several 20 sec bouts at workload corresponding to 115% of maximal aerobic power (MAP), followed by 40 sec recovery at 50% of MAP during 60-90 min, increasing 15 min every two sessions. At each testing visit, skeletal muscle oxygenation, using near-infrared spectroscopy (NIRS), and stroke volume (SV), heart rate (HR) and Q, using a bio-impedance apparatus (Physio Flow[®]), were measured.

Results

Performance time and power output were improved ($p<0.01$) by 4.1% and 4.5% respectively during the final TTT (pretest: 2207 ± 161 sec, 244 ± 25.9 W; posttest: 2116 ± 175 sec, 255 ± 28.8 W). The HIT program did not improve significantly peak power output during the power-test. However, the fatigue index at the power-test decreased ($p<0.01$) by 7.2% after training (pre $43.7 \pm 5.9\%$; post $40.6 \pm 6.7\%$). The HIT program improved ($p<0.01$) the MAP by 7.49% and relative VO₂ max by 3.28% ($p=0.056$). V_E/VO₂ and lactatemia were significantly reduced at most sub-maximal intensity levels during the post MAP test. However, no significant difference occurred in HR, SV and

oxygen saturation (SpO_2) between pre and post MAP tests. A significant pre-post reduction ($p<0.05$) in Δ -deoxyhemoglobin between intensity levels during the MAP test was also obtained. Skeletal muscle tissue saturation index (TSI %) was significantly increased for most sub-maximal intensity levels during the post MAP test. Furthermore, estimated skeletal muscle blood flow showed a tendency to decrease at low to moderate intensity.

Conclusion

This HIT program improved cycling economy by a mechanism that induced more peripheral ($\uparrow\text{TSI}\%$, $\downarrow\text{Lactatemia}$) than central (Q, HR, SV and SpO_2) adaptations.

Introduction

Competitive cross country mountain biking requires high rates of aerobic and anaerobic energy production (Stapelfeldt, Schwirtz et al. 2004). According to Impellizzeri and al., over 82% of the time of the race stands above the lactate threshold, with an average heart rate over 90% of the maximum and a high percentage of $\text{VO}_2 \text{ max}$ corresponding to 84% (Impellizzeri and Marcora 2007). Our observations on the mountain bike race course of the World Cup circuit in St-Félicien (Quebec, Canada) showed frequent short effort sequences at 115% of MAP, followed immediately by submaximal sequence efforts. Because cross-country events are high intensity activities characterized by intermittent effort bouts, it is logical that a training program include bouts of supra maximal intensity to improve performance. Endurance training increases cardiac output (Åstrand and Rodahl 1986) and peripheral adaptations, but little is known about which specific adaptations occur when riders train at this specific intensity. In a review by Laursen and Jenkins (Laursen and Jenkins 2002), high intensity interval training (HIT) program demonstrated a multitude of central and peripheral adaptations that are correlated with gains in maximal aerobic power and performance. However, none of the researches reported in this review explored the effects of a HIT program on cardiac output and skeletal muscle oxygenation concurrently in cyclist.

The central adaptations to endurance facilitate the improved delivery of oxygen to the muscle at exercise. Given that maximal heart rate remains unchanged in response to endurance training (Zavorsky 2000), improvement during high-intensity exercise can be attributed to an increase in stroke volume, thus increasing cardiac output. Early studies demonstrated that stroke volume plateaus at approximately 40-75% of $\text{VO}_2 \text{ max}$

(Åstrand, Cuddy et al. 1964; Plotnick, Becker et al. 1986) and may decrease as VO_2 max is approached (Spina, Ogawa et al. 1992). Some studies found that in well trained individuals, stroke volume (Gledhill, Cox et al. 1994; Zhou, Conlee et al. 2001) progressively rises in response to increasing exercise intensity up to VO_2 max. Over the past decade, a noninvasive device that uses the principle of bio-impedance, the Physio Flow (Physio Flow, Manatec Biomedical Macheren, France), has been used to measure the change in volume of blood leaving the heart via the aorta. This non-invasive method appraises the function of the heart, whether at rest or during exercise. Maximal cardiac output has been found to be near to 20 to 25 liters per minute (l / min) in trained people and up to 40 l / min for elite athletes (Ekblom and Hermansen 1968) ; this last value represents a blood flow 5 to 6 times that of rest. The stroke volume (SV) in athletes at rest varies from 100 ml to 120 ml and 150 to 170 ml at maximal effort (Ekblom and Hermansen 1968). In their literature review of literature, Vella and Robergs (Vella and Robergs 2005), reported a difference of about 122 ml to 183 ml per heart beat in maximum stroke volume, in trained people. According to Gledhill et al. (Gledhill, Cox et al. 1994), the SV could rise up to the attainment of VO_2 max. However, Tabata and al. (Tabata, Nishimura et al. 1996) found that the high intensity intermittent training program achieved bigger gain in VO_2 max. It still remains unknown whether gain in VO_2 max is more attributable to central or to peripheral adaptations.

Peripheral adaptation to exercise training refers to the ability of working muscle to produce and utilise ATP. Other factors that may contribute to the enhanced endurance performance of the highly trained athlete following HIT are increases in myoglobin (Stepto, Martin et al. 2001), capillary density, and fibre type characteristics (Coyle,

Coggan et al. 1988; Stepto, Martin et al. 2001). Bailey and al (Bailey, Fulford et al. 2010) demonstrated that reduced O₂ cost of sub-maximal exercise is consecutive to a reduced ATP cost of muscle force production. It has been shown that superior running economy was associated with enhanced endurance running performance (Conley DI 1980). Peripheral adaptations following the completion of a short training program at intensities below 100% of VO₂ max have been examined by Neary and al. (2004), using near infrared spectroscopy, or NIRS (Neary and Patrick 2004), a non-invasive device that measures the behavior of oxygen content, its transportation and its extraction in the skeletal muscle. Chance et al. (Chance, Leigh et al. 1985) were the first to study the availability of O₂ in skeletal muscle using NIRS. Moreover, several studies have demonstrated the validity and reliability of NIRS (Boushel, Pott et al. 1998; Sako 2010). In recent years, several research groups have applied this technique (Bhambhani, Buckley et al. 1999; Neary, McKenzie et al. 2002). The use of NIRS enabled us to quantify the index of oxygen saturation of muscle (TSI %), deoxyhemoglobin (HHb), oxyhemoglobin (O₂Hb) and total hemoglobin (tHb) at a muscle site. Costes et al. (Bailey, Fulford et al. 2010) have shown that endurance training cycle at sub-maximal intensities influences oxygen saturation in skeletal muscle (TSI %).

However, specific training programs that distinguish between the central adaptation, such as SV and left ventricular ejection time, in comparison to peripheral adaptation, such as oxygen extraction and saturation of the skeletal muscle, are not clearly documented in the literature with respect to intensity, duration and frequency. Thus, it seems relevant to investigate the effects of high intensity training (HIT) program above

MAP in the hope of frequent short effort sequences better discriminating between peripheral and central adaptations.

7.3 Hypothesis

We hypothesize that a HIT program will increase cardiac output, maximum oxygen uptake and power at lactate threshold concurrently with an increase in blood flow, tissue saturation and oxygen extraction in the vastus lateralis muscle. The improvement of these physiological variables is correlated with an increased performance in mountain bike cyclists.

7.4 Methods

Subjects

Eleven trained male cyclists volunteered to participate in this study. Their physical characteristics (mean \pm SD) were $35 \pm 2,6$ yr., height = $174,7 \pm 1,9$ cm, mass = $74 \pm 2,4$ kg, and initial $\text{VO}_2 = 4,5 \pm .053 \text{ L/min}^{-1}$ (table 7-1). After approval by a duly constituted institutional ethics committee of the University of Quebec at Trois-Rivières (Canada), written informed consent was obtained from each subject after an explanation of all the tests and procedures involved in this study.

Experimental protocol

Each subject completed three laboratory visits before the HIT program: for VO_2 max determination, for virtual time-trial performance test (TTT), and for power-test, and a three one after 8 sessions of HIT, for measurements only. Prevention of virtual test, the

subjects performed this test as a learning before assessed. The detailed description of procedures and measured parameters is given below.

VO₂ max testing

On their first visit to our laboratory, subjects were tested for their peak oxygen uptake (VO₂ max). Ventilation and pulmonary gas exchange (VO₂ and VCO₂) were measured by using gas analyser (Moxus , AEI technologies USA). Before each test, the device was calibrated according to the manufacturer's instructions. In each case, the subjects were asked to bring and use their own bicycle. Bicycles were mounted on a Computrainer ergometer (Racermate, Computrainer Lab, Seattle, WA, USA), which had been validated (Cane, Seidman et al. 1996; Westgarth-Taylor, Hawley et al. 1997; Weston, Myburgh et al. 1997; Laursen and Jenkins 2002). A pedal-frequency meter was used to maintain cadence with a visual feedback, and subjects pedaled at their own preferred cadence (between 90 -100 rpm) throughout all tests. The subjects were asked to avoid heavy exercise 48 hrs before each test. The test began at 130W and was stepped up by 30W increments. The duration of effort periods were 5 minutes and they were separated by 3 minutes recovery periods at 1W per kilogram/weight. VO₂ max was defined as the highest 30 sec VO₂ value reached during this incremental test with an respiratory exchange ratio (RER) greater than 1.1 and a peak heart rate at least equal to 90% of the age-predicted maximum, or leveling off in the course of oxygen uptake until subject reached a volitional exhaustion and/or the pedaling rate could no longer be maintained over 90 revs/min. At each testing visit, skeletal muscle oxygenation, using near-infrared spectroscopy (NIRS), and stroke volume (SV), heart rate (HR) and Q, using a bio-impedance apparatus (Physio Flow[®]), were measured.

High-intensity training (HIT) protocol

The HIT protocol consisted in performing several 20 sec bouts at workload corresponding to 115% of maximal aerobic power (MAP), followed by 40 sec recovery at 50% of MAP during 60-90 min, increasing 15 min every two sessions (table 6). Training progression was implemented by increasing the duration of exercise from 60 min during the sessions 1 and 2, to 75 min during session 3 and 4, to 90 min during sessions 5 and 6 and finally returning to 60 min during sessions 7 and 8. At sessions 1 and 8, were measured skeletal muscle oxygenation, using near-infrared spectroscopy (NIRS), stroke volume (SV), heart rate (HR) and Q, using a bio-impedance apparatus (Physio Flow®).

Virtual time-trial performance test (TTT)

Each subject completed a simulated 13.2 km performance ride on a Computrainer ergometer. The air pressure of the bicycle tires was checked before and after each ride to ensure that maximum tension (calibration) was maintained. The heart rate (HR) was monitored continuously throughout the duration of the TTT using telemetry (Polar S 810i). Lactate concentration (Lactate Pro LT-1710, USA) and oxygen saturation (PC-60C Fingertip Pulse Oximeter, PA, E.U.) were taken after the first segment of 6.6 km and at the end of the TTT. Subjective rating of perceived exertion (RPE) was also recorded. The subjects were encouraged to perform their best effort until the end.

Power test

Subjects completed a 320 meter maximal effort (30 sec) on a Computrainer ergometer. They were instructed to begin pedaling as fast as possible when the Computrainer applied the load, receiving sustained verbal throughout the test. Peak power, mean power and fatigue index were calculated and recorded by an online data acquisition system.

Muscular oxygenation measures (NIRS)

Muscular oxygenation changes were evaluated by the NIRS system (Portamon, Artinis Medical system BV, Utrecht Area-The Neatherlands). NIRS is a non-invasive method which allows a local muscle oxy/deoxygenation monitoring. It is based on the relative tissue transparency to light in the near-infrared region and the oxygen-dependent absorption changes of hemoglobin et myoglobin. By using a continuous wave near-infrared spectrophotometer that generates light at 905, 805 and 750nm, it is possible to differentiate between oxy- and deoxyhemoglobin (O_2Hb and Hhb respectively) (Bhambhani, Buckley et al. 1999). It was first applied to the study of exercising skeletal muscle in humans by Chance and al. (Chance, Leigh et al. 1985). The parameters commonly measured by NIRS are oxyhemoglobin (O_2Hb), deoxyhemoglobin (HHb) and total hemoglobin (tHb) and tissue saturation index (TSI %). These signals were "zeroed" during resting baseline and reported as the relative difference in concentration during exercise. Raw attenuation signals, in optical density units, were transferred to a computer and stored for further analysis. The HHb signal can be regarded as being essentially blood volume-insensitive during exercise (De Blasi et al. 1994; Duncan et al. 1995); thus, it is assumed to be a reliable estimator of changes in intramuscular

oxygenation status and represents the balance between local muscle O₂ delivery and O₂ utilization within the NIRS field of interrogation (Duncan, Meek et al. 1995; Boushel, Pott et al. 1998). The NIRS-derived tHb signal is a reliable indicator of changes in blood volume within the interrogation site of the working muscles (McCully and Hamaoka 2000; DeLorey, Kowalchuk et al. 2003). To record the NIRS signal, the probe was placed over the right vastus medialis muscle, approximately 12-14 cm from the knee joint along the vertical axis of the thigh (Belardinelli, Barstow et al. 1995; Bhambhani, Buckley et al. 1997). The thigh, with attached optodes and covering, was wrapped with an elastic bandage to minimize movement of the optodes while still permitting freedom of movement for cycling. Before each test, the NIRS probe was calibrated according to the manufacturer's protocol and specifications. This was done while the subject was seated on his own bicycle with the leg in a relaxed position at the lowest point of the pedal. A setting time of approximately 30 s was allowed at each test to allow for stability of the reading. The calibration was repeated twice before each test to ensure accuracy of the data. The baseline value for each individual was taken both before and after the test for ascertaining the comparability of the NIRS data.

Measurement of cardiac output (Q)

The device used for measuring cardiac output (Q) was an impedance cardiograph, the Physio Flow PF-03 (Manatac Biomedical, Macheren, France). Impedance during cardiac ejection to calculate stroke volume (SV). The Physio Flow emits high frequency (75 kHz) and low amperage (1,8 mA) alternating electrical current via electrodes. Autocalibration is achieved after having entered the athlete's age, height, body mass,

and systolic/diastolic blood pressure assessed using standard sphygmomanometer. To achieve the autocalibration, the athlete must be immobile and relaxed.

Statistics

All data are presented as means \pm SEM. An alpha threshold of 0.05 was considered statistically significant. Paired t-tests were used to compare one group that has been tested twice. The tables and graph show means and standard errors for each condition pre and post intervention.

7.5 Results

Physiological characteristics

Descriptive physiological characteristics and anthropometric measurements (Appendices A-1 and A-2) of the 11 subjects are shown in table 1. The mean ages and heights were 35 ± 8 years and 174.7 ± 6.1 cm respectively. The high-intensity interval training (HIT) program increased significantly the relative VO_2 max, MAP (Watts) and lactatemia at 4 mM. There was no statistical improvement in other maximal physiological variables such as absolute VO_2 , V_E max, HR max, SV max and Q max.

Table 7-1: Physiological characteristics observed at the pre and post MAP tests

Parameters	PRE (Mean \pm SD)	POST (Mean \pm SD)	Individual changes (/n)
Weight (kg)	74.01 ± 7.6	73.7 ± 7.9	$\uparrow 6/10$
VO_2 max (mL/min/kg)	60.9 ± 6.3	$*62.9 \pm 6.5$	$\uparrow 8/11$
VO_2 (mL/min)	4499.99 ± 532.2	4594.8 ± 503.2	$\uparrow 8/11$
Skinfold Sum (mm)	36.9 ± 14.5	33.8 ± 13.1	$\downarrow 8/11$
HR max (beats/min)	186.7 ± 8.7	188.2 ± 6	
MAP (Watts)	290.9 ± 36.2	$**312.7 \pm 24.9$	$\uparrow 7/10$
4 (mM)	212.8 ± 26	$***237.6 \pm 23.6$	$\uparrow 11/11$
V_E max (L/min)	169.0 ± 21.4	171.4 ± 25.9	$\uparrow 6/11$
SV max (ml/beat)	118 ± 16.2	119.2 ± 16	$\uparrow 2/6$
Q max (l/min)	21.6 ± 2.7	22.4 ± 2.6	$\uparrow 4/6$
TSI %	-15.6 ± 7.8	-7.9 ± 3.7	$\downarrow 8/9$
HHb	16.9 ± 9.5	12.7 ± 7.7	$\downarrow 6/9$
tHB	-3.4 ± 6.3	-0.1 ± 7.2	$\uparrow 5/9$

VO_2 max, maximal oxygen uptake; MAP, maximal power output attained during the maximal test; HR _{max}, maximal heart rate; V_E _{max}, maximal ventilation; 4mM, power output at 4 mM of lactate; SV _{max}, maximal stroke volume; Q _{max}, maximal cardiac output; TSI %, skeletal muscle tissue saturation index; HHb, skeletal muscle deoxyhemoglobin; tHB, skeletal muscle total hemoglobin.

Indicates a significant (* $p = 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p = 0.001$) effect of the HIT program. ↑n denote the number of subject who demonstrated improvement in several physiological variables.

Sub-maximal physiological response during the maximal aerobic power test (MAP)

No significant difference occurred in heart rate (HR) for each intensity level between pre and post MAP tests (figure 7-1 and appendix A-3).

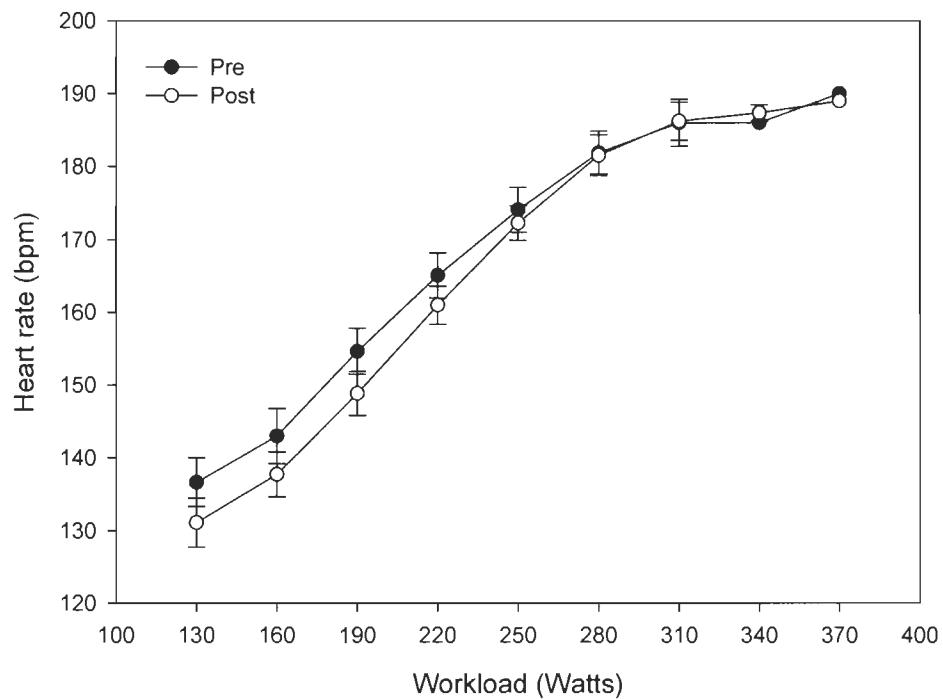


Figure 7-1: Heart rate (HR) at MAP test. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

No significant difference occurred in stroke volume (SV) for each intensity level between the pre and post MAP tests (figure 7-2 and appendix A-4).

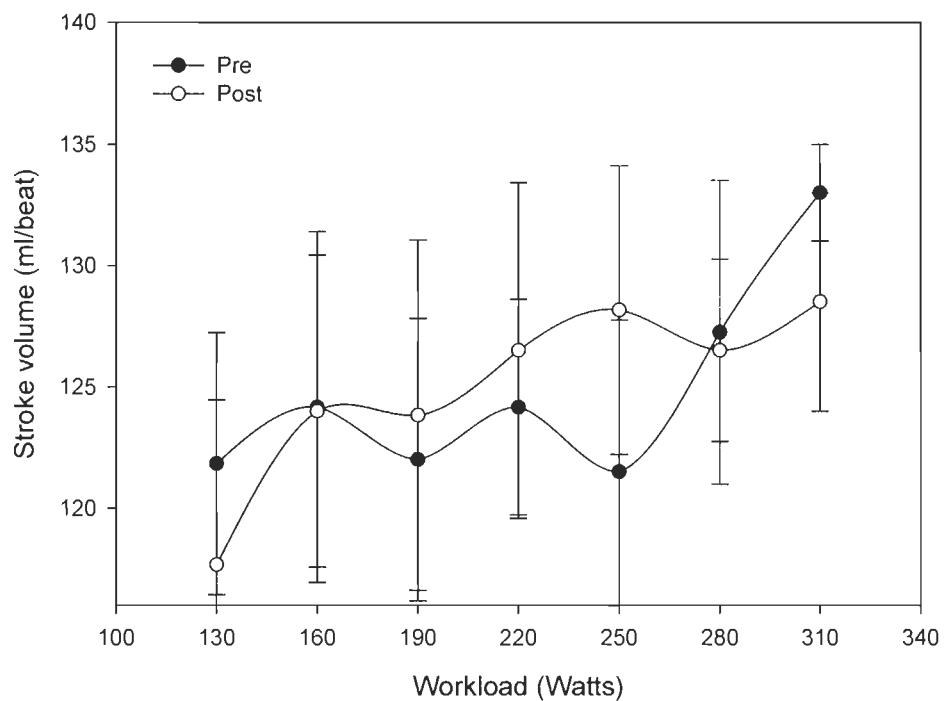


Figure 7-2: Stroke volume (SV) at VO_2 max test. Data are presented as means \pm SEM. The last stage (310 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

No significant difference occurred in cardiac output (Q) for each intensity level between the pre and post MAP tests (figure 7-3 and appendix A-5).

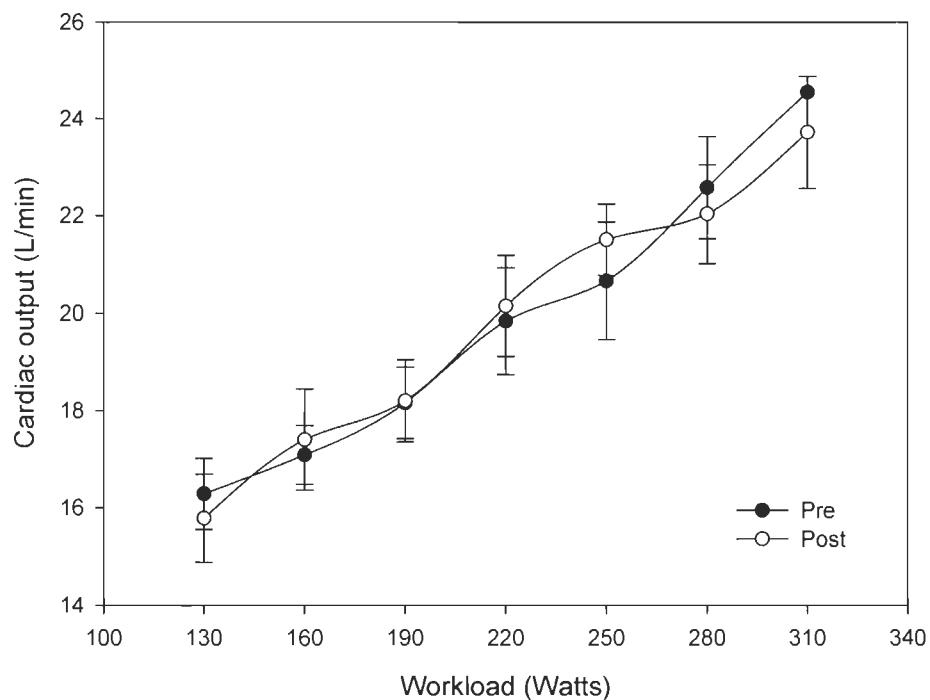


Figure 7-3: Cardiac output (CO) at VO_2 max test. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

No significant difference occurred in arterial oxygen saturation (SpO_2) for each intensity level between the pre and post MAP tests (figure 7-4 and appendix A-6).

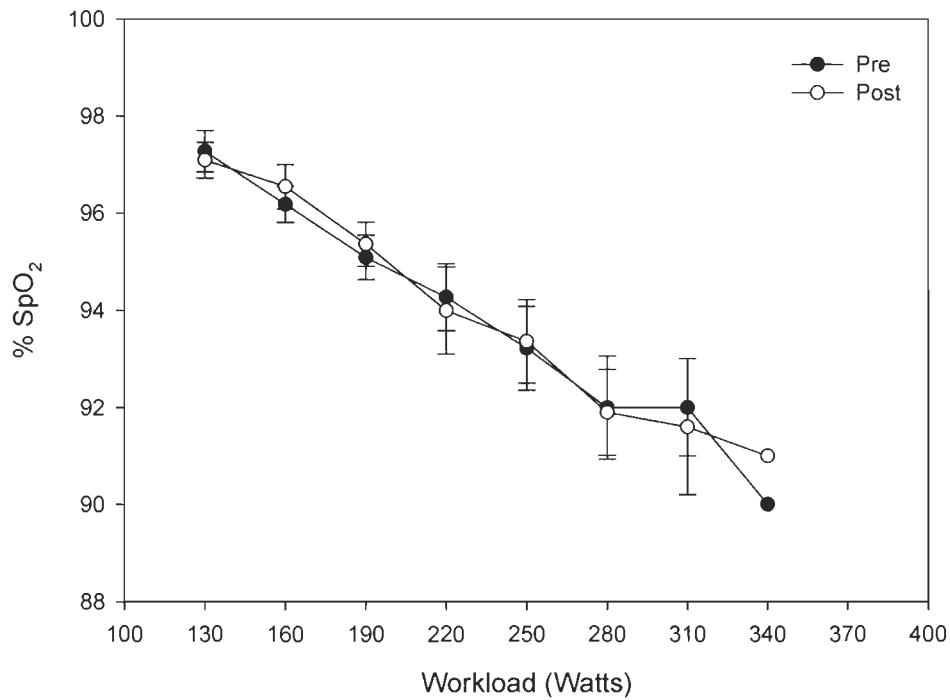


Figure 7-4: Saturation (SpO_2) at VO_2 max test. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

Lactatemia response was significantly reduced (figure 7-5 and appendix A-7) by a mean of 30.2% between the pre and post MAP tests, ranging from 20-36.7% for each intensity level.

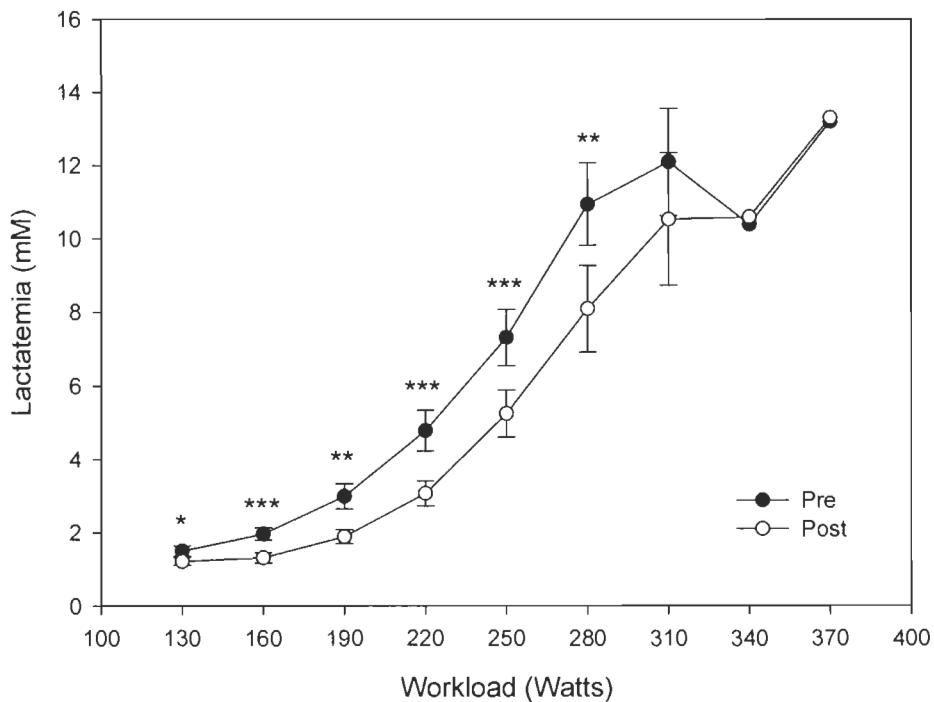


Figure 7-5: Lactatemia at VO_2 max test. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ significantly pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

VO_2 response was significantly reduced from pretest at intensity levels of 220 W ($p = 0.01$) and 250 W ($p < 0.05$) during the post MAP test (figure 7-6 and appendix A-8). The improvements were 4.7% and 4% respectively.

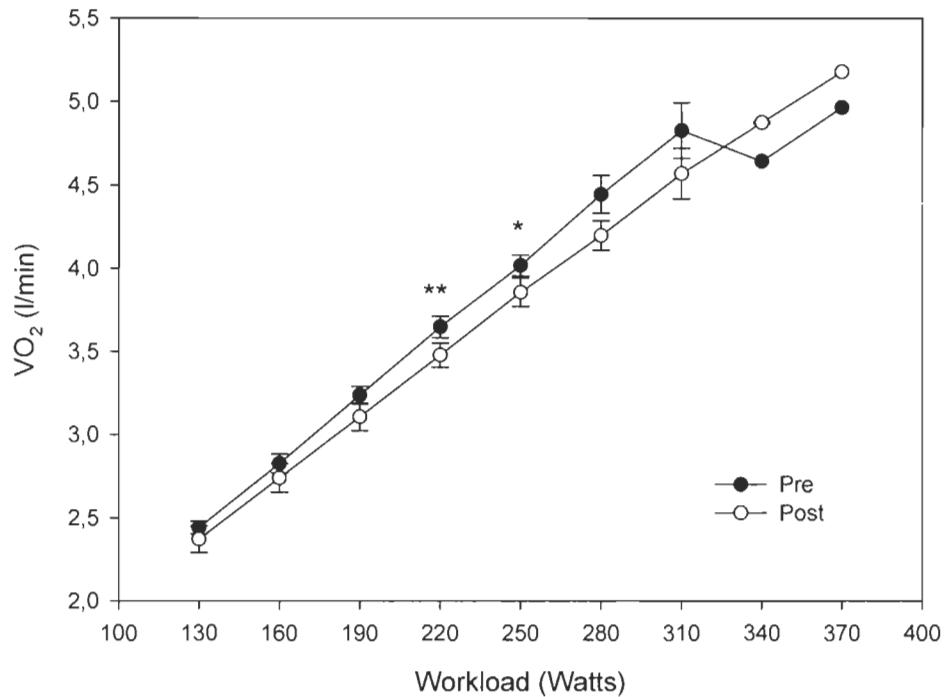


Figure 7-6: VO_2 at VO_2 max test. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; significantly pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

The V_E was significantly reduced from pretest at intensity levels of 190 W ($p<0.001$); 220 W ($p<0.05$); 250 W; ($p<0.001$) and 280 W ($p<0.05$) during the post MAP test (figure 7-7 and appendix A-9). The improvements were 8.2%. 11.1%. 13.6% and 15.5% respectively.

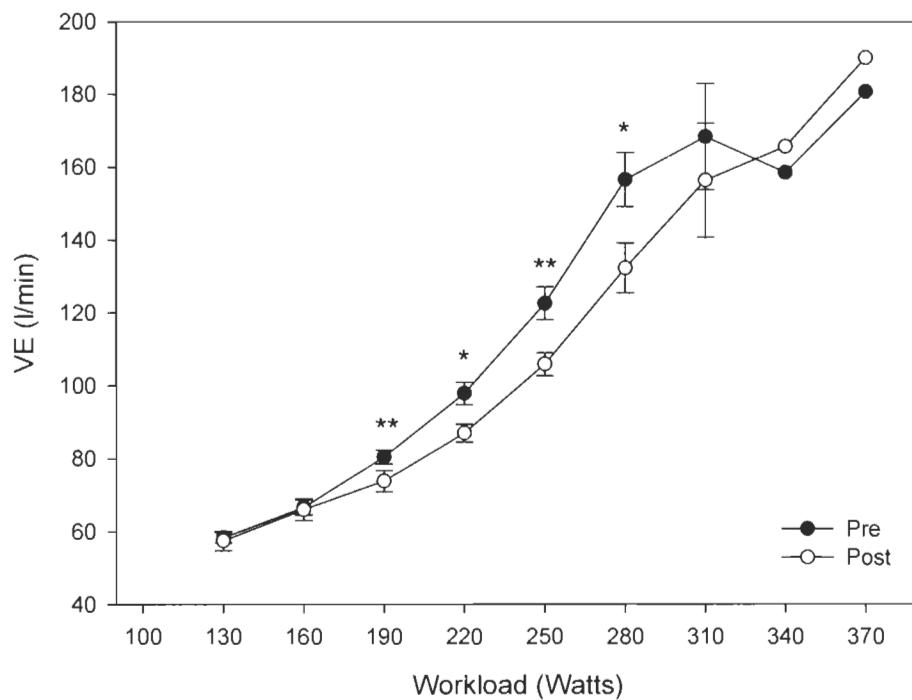


Figure 7-7: V_E at VO_2 max test. * $p < 0.05$; ** $p < 0.001$; significant pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

The V_E/VO_2 was significantly reduced from pretest at intensity levels of 220 W ($p=0.05$); 250 W and 280 W ($p<0.05$) during the post MAP test (figure 7-8 and appendix A-10). The improvements were 7.1%, 10% and 12.5% respectively.

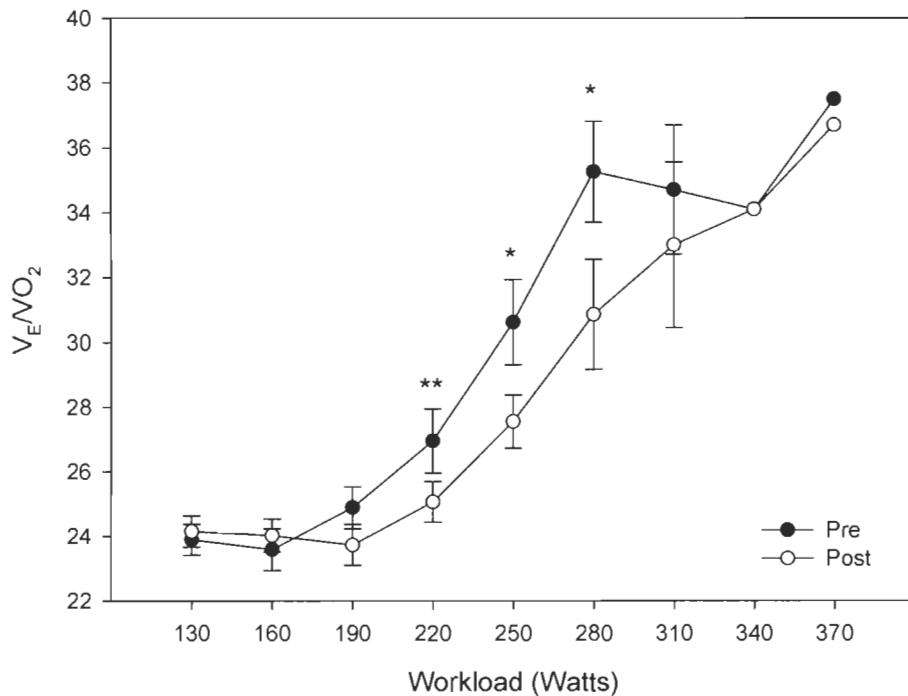


Figure 7-8: V_E/VO_2 at VO_2 max test. * $p < 0.05$; ** $p = 0.05$; significant pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

Skeletal muscle tissue saturation index (TSI%) was significantly less reduced for most sub-maximal intensity levels during the post MAP test ($p < 0.01$). The TSI% difference between the lowest (130 W) and highest intensity levels was also significantly less reduced ($p < 0.01$) between the pre and post MAP tests (figure 7-9 and appendix A-11).

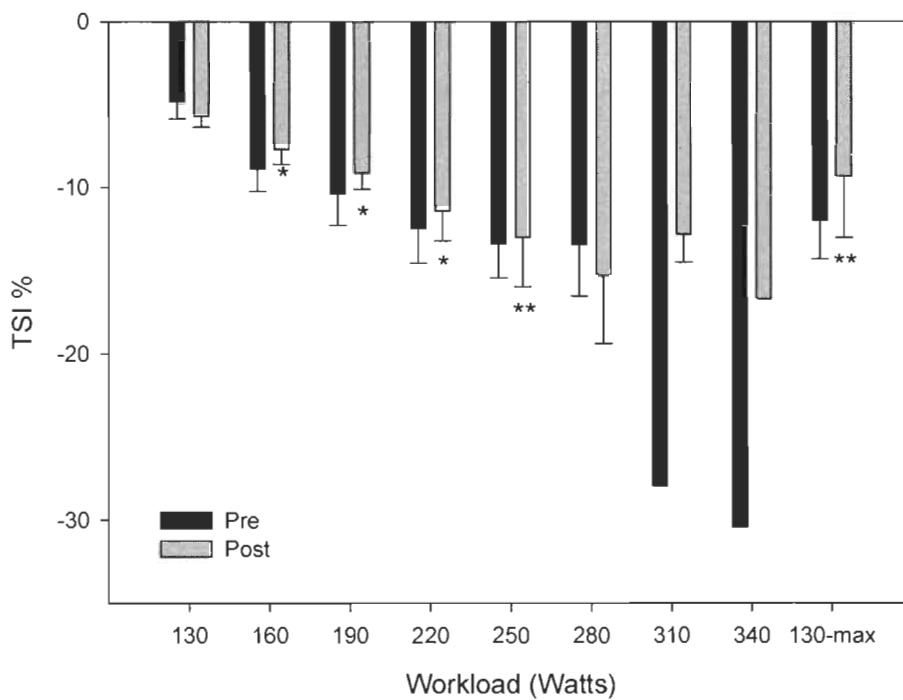


Figure 7-9: TSI% at VO_2 max test. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; significant pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W - 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

The skeletal muscle deoxyhemoglobin (HHb) was significantly reduced from pretest at intensity levels of 250 W ($p<0.05$) during the MAP test (figure 7-10 and appendix A-12).

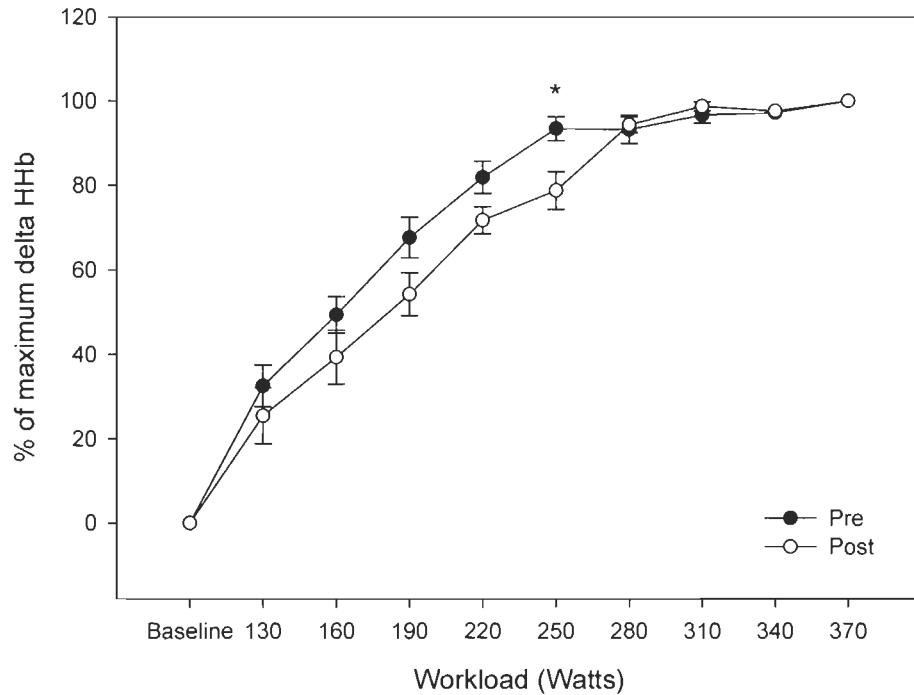


Figure 7-10: HHb at VO_2 max test. $*p < 0.05$; significant pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM. The last 2 stages (340 W, 370 W) must be interpreted with caution owing to an insufficient number of subjects.

No significant difference occurred in skeletal muscle total hemoglobin (tHB) for each level between pre and post MAP tests (figure 7-11 and appendix A-13).

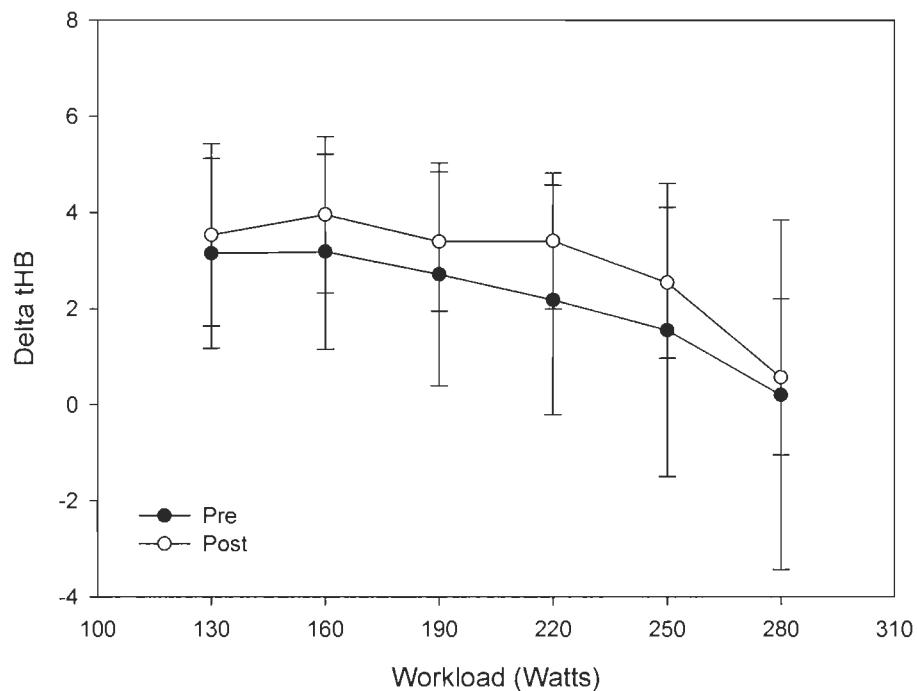


Figure 7-11: tHB at VO_2 max test. No significant pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM.

Physiological response after 8 sessions of high-intensity interval training program

No significant difference occurred in arterial oxygen saturation (SpO_2) during 60 minutes high-intensity training sessions between the pre and post MAP tests (figure 7-12 and appendix A-14).

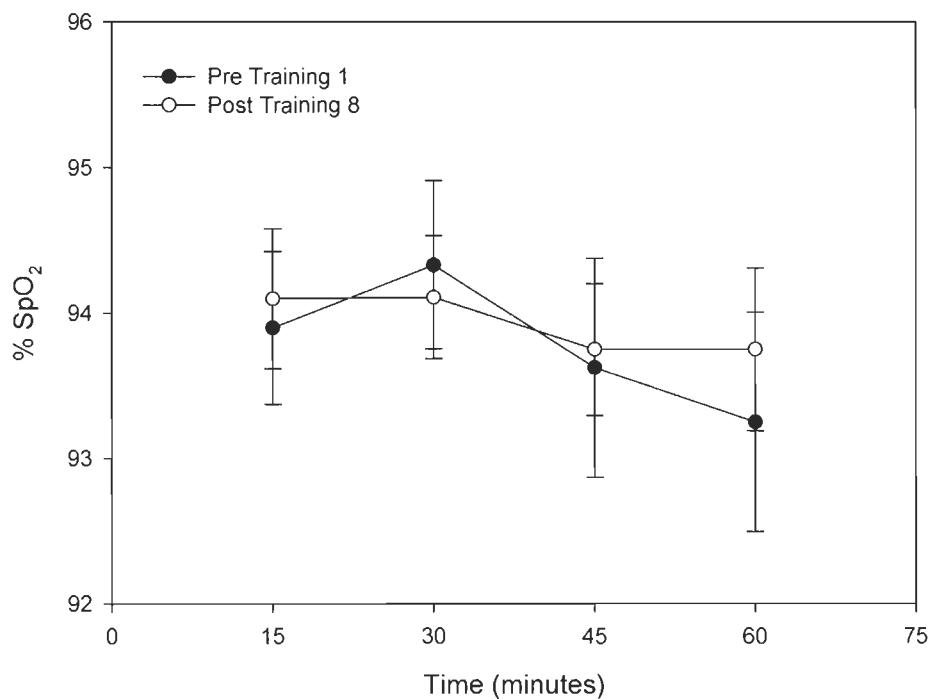


Figure 7-12: % SpO_2 at initial vs. final 60 minutes exercise training protocols
Data are presented as means \pm SEM.

Lactatemia response was significantly reduced between the pre and post MAP tests (figure 7-13 and appendix A-15) by an average of 34% at 15 minutes and 41% at 30 minutes during 60 minutes high-intensity training sessions.

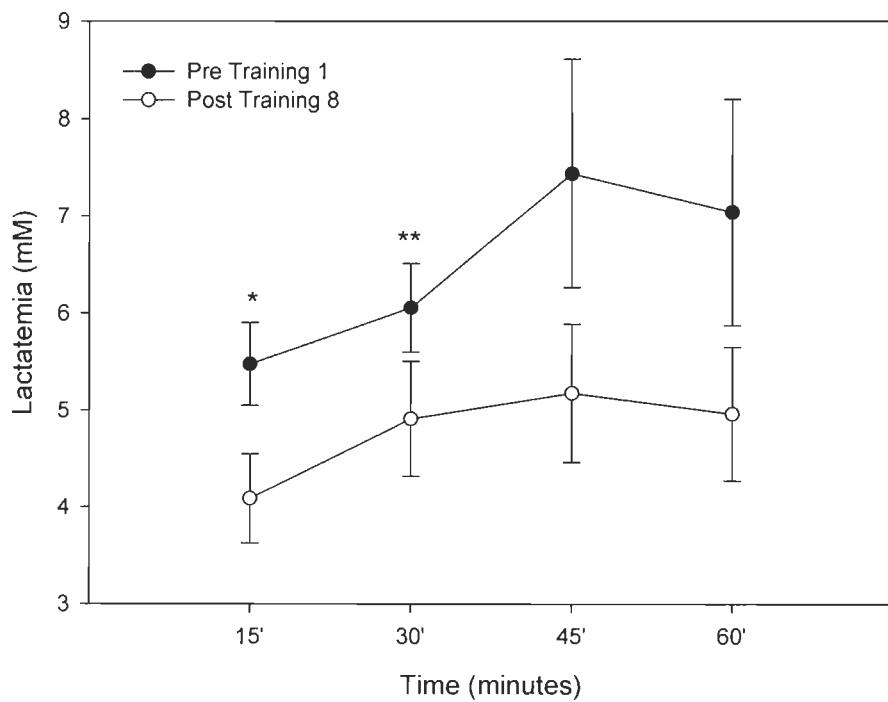


Figure 7-13: Lactatemia at initial vs.final 60 minutes exercise training protocols. Data are presented as means \pm SEM.

The oxygen consumption response during the first and the last 60 minutes exercise training session of the training protocol (figure 7-14 and appendix A-16). In general, oxygen consumption was significantly decreased during the last 45 minutes.

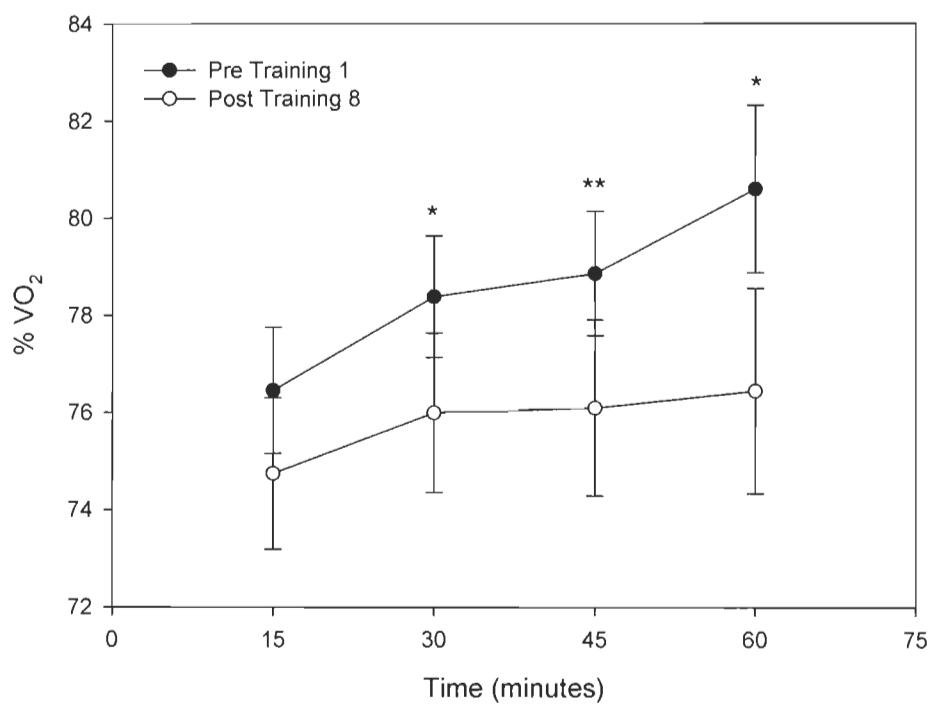


Figure 7-14: %VO₂ at initial vs. final 60 minutes exercise training protocols

* $p < 0.05$; ** $p = 0.05$; significant difference from training 1. Data are presented as means \pm SEM.

The oxyhemoglobin (O_2Hb) response tended to increase between the first and last session of the HIT training protocol (figure 7-15 and appendix 17), however, the results were not significant.

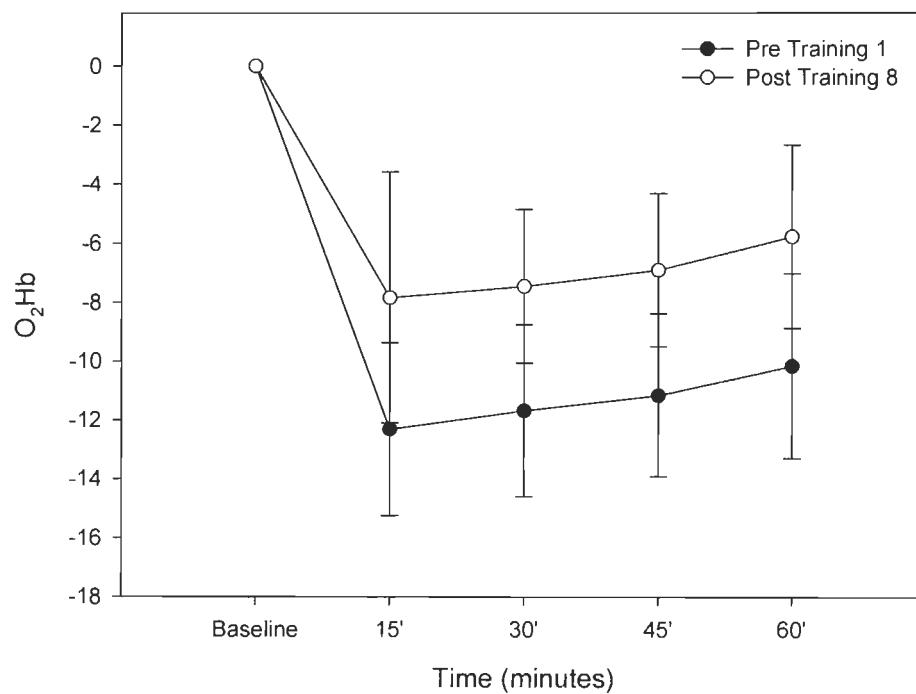


Figure 7-15: O_2Hb relative levels at the 1st and 8th session of the training protocol. Data are presented as means \pm SEM.

The skeletal tissue saturation index (TSI%) response did not differ between the first and last session of the training protocol (figure 7-16, appendix 18). The results of the saturation index were similar between pre and post MAP tests, the TSI%. The results were not significant.

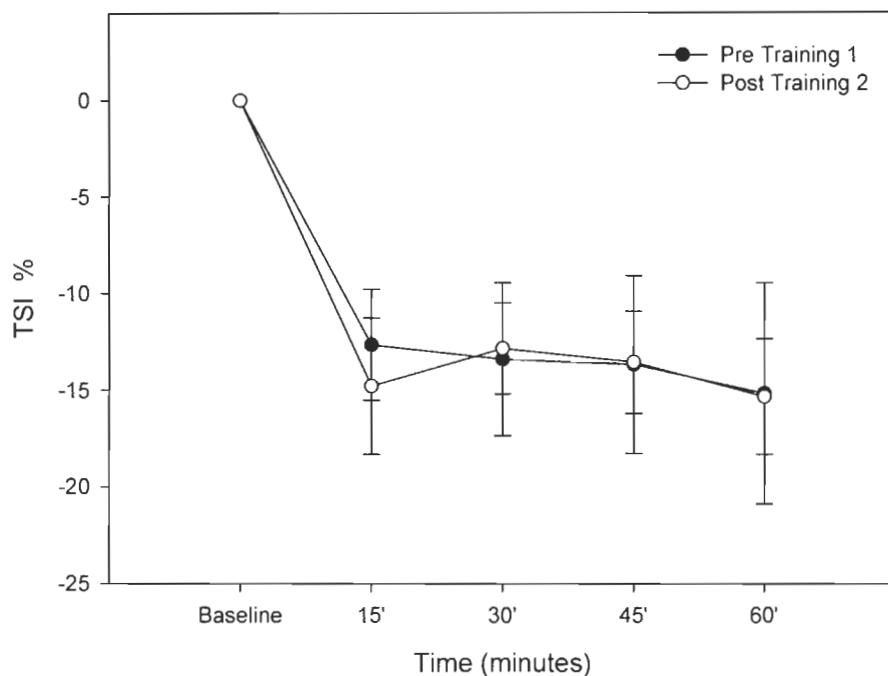


Figure 7-16: TSI% at Initial vs.final 60 minutes exercise training protocols
TSI % was adjusted from baseline. Data are presented as means \pm SEM.

The total hemoglobin (tHB) response tended to increase between the 1st and 8th session of the training protocol (figure 7-17, appendix 19), however, the results were not significant.

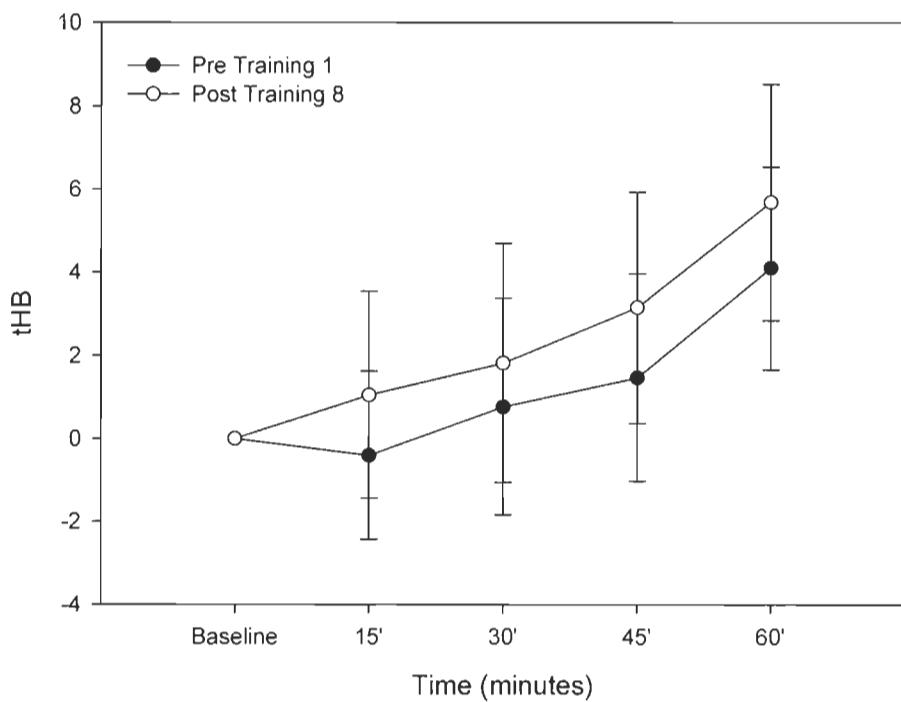


Figure 7-17: tHB at Initial vs.final 60 minutes exercise training protocols. The tHB was adjusted from baseline. Data are presented as means \pm SEM.

As for the deoxyhemoglobin (HHb) response, it tended to decrease across the 8 sessions of the training protocol (figure 7-18, appendix 20), but again the differences were not found significant.

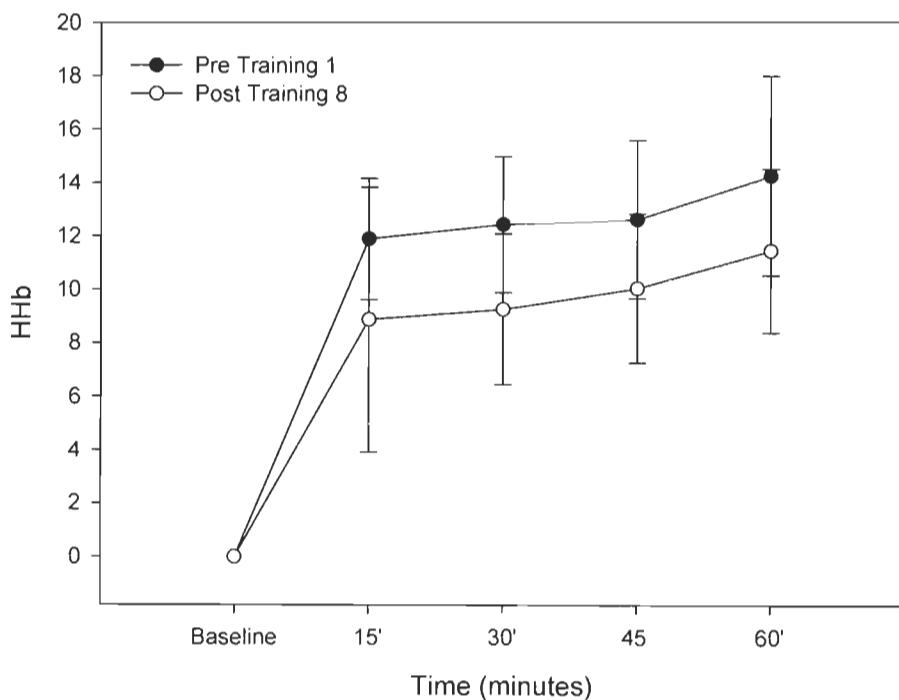


Figure 7-18: HHb at Initial vs final 60 minutes exercise training protocols
HHb was adjusted from baseline. Data are presented as means \pm SEM.

Virtual time-trial performance test (TTT)

The mean performance time taken by the cyclists to complete the final time trial test (TTT) (figure 7-19 and appendix A-21) (2116 ± 175 sec) was significantly shorter ($p < 0.001$) than pre TTT (2207 ± 161 sec) by 4.12%. The first split time (1046 sec \pm 86) at post TTT was significantly improved ($p < 0.01$) over the first pre split time (1096 sec. \pm 79) by 4.56%. Moreover, the second split time at pre (1070 sec \pm 91 sec) was faster by 3.69% ($p < 0.01$) than the second split time at post (1111 \pm 90 sec) during the pre TTT. The second split time (1070 sec. \pm 91) was slower by 2.29% than the first split time during the post TTT (1046 sec. \pm 86; $p < 0.05$). A result that we did not observe during the pre TTT.

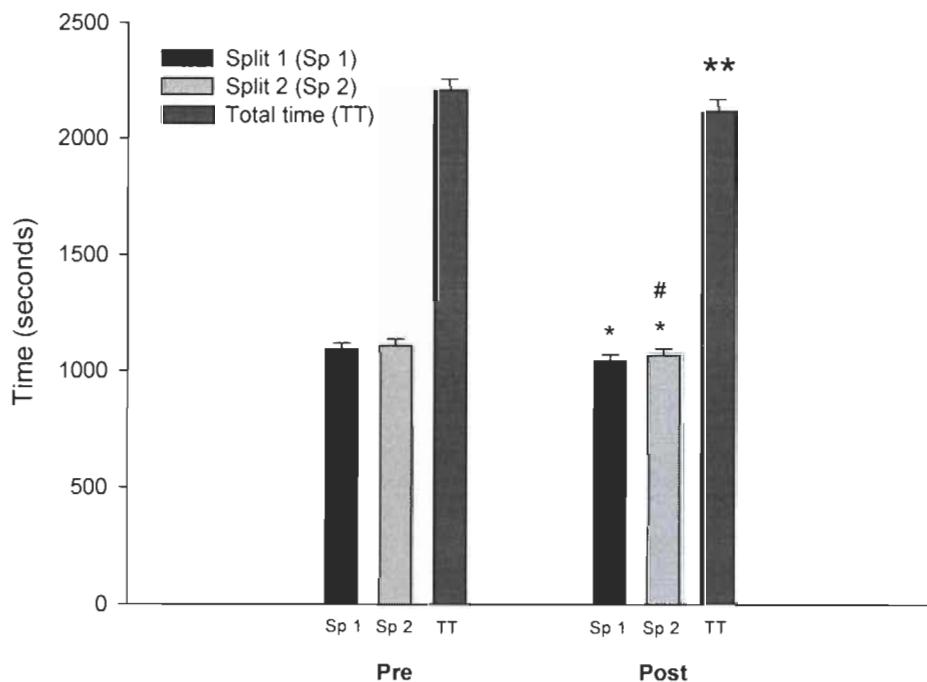


Figure 7-19: Pacing strategy distribution of time during the TTT. * $p < 0.01$; significantly different from pre split time. ** $p < 0.001$; significantly different from pre TTT. # $p < 0.01$; significantly different from split 1 and 2. Data are presented as means \pm SEM.

The mean power output measured during the final TTT was significantly improved ($p < 0.01$) after the HIT program (pre 244 ± 25.9 W; post 255 ± 28.8 W) by 4.5%. The mean power output (figure 7-20 and appendix A-22) was also significantly improved ($p < 0.05$) during the pre split 1 (248 ± 26.8 W) and post split 1 (259 ± 28.3 W) by 4.5%. The mean power output was significantly improved ($p < 0.05$) in post split 2 (250 ± 29.97 W) as compared to pre split 2 (242 ± 27.06 W) and by 3.3%.

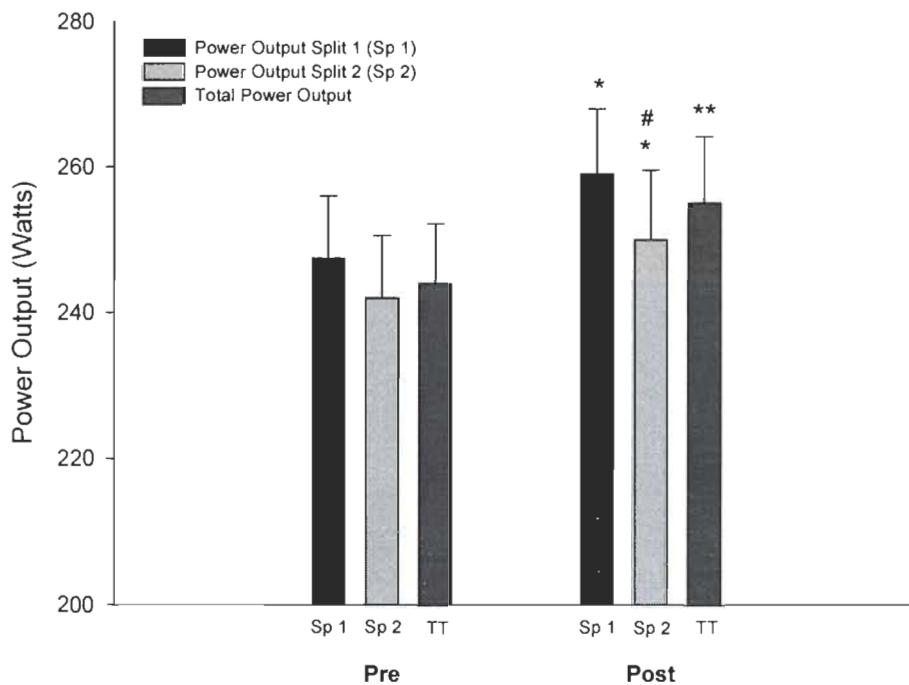


Figure 7-20: Power output at time trial test. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; significantly different from pre testing. # $p < 0.01$; significantly different from post split 1. Data are presented as means \pm SEM.

We did not observe any significant difference of lactatemia between the end of the pre test and post-test. However, in the post test, lactatemia (mM) at the second split was significantly higher ($p < 0.001$) (figure 7-21 and appendix A-23) than the first split time (first split post - 9.7 ± 2.2 mM; second split post - 12.1 ± 2.10 mM) by 24.7%.

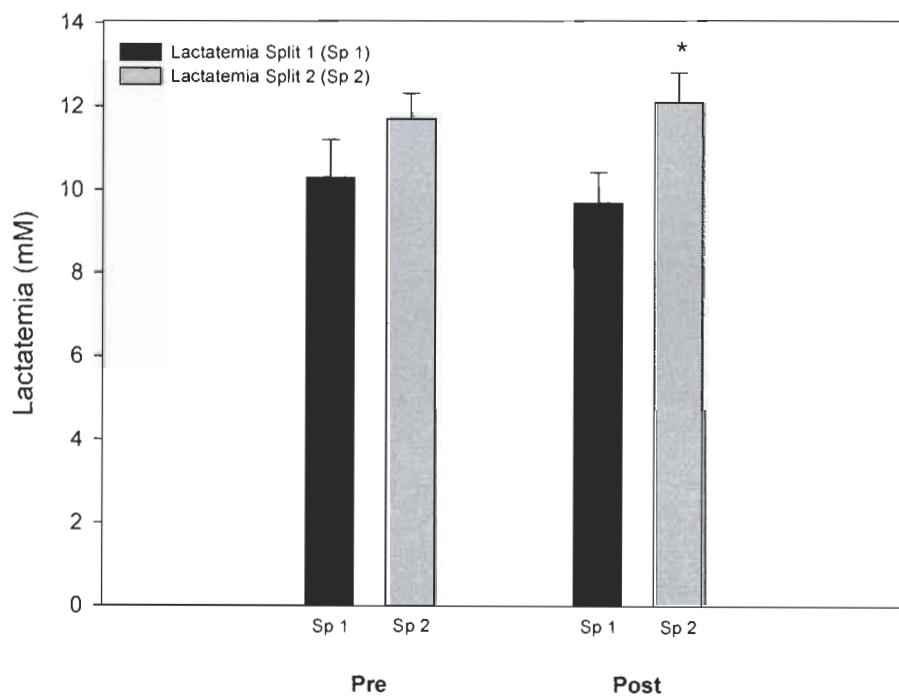


Figure 7-21: Lactatemia during the TTT. Significantly (* $p < 0.001$) different from post split 1 at TTT. Data are presented as means \pm SEM.

Power test (PT)

The HIT program did not improve significantly the peak power output (figure 7-22 and appendix A-23) between the pre (1029.4 ± 39.02 W) and post (1016.7 ± 40.81 W) power test. However, the fatigue index was improved (figure 7-23 and appendix A-24) as shown by a slight and significant decrease ($p < 0.01$) of 7.17% after the HIT program (pre $43.68 \pm 5.93\%$; post $40.55 \pm 6.69\%$).

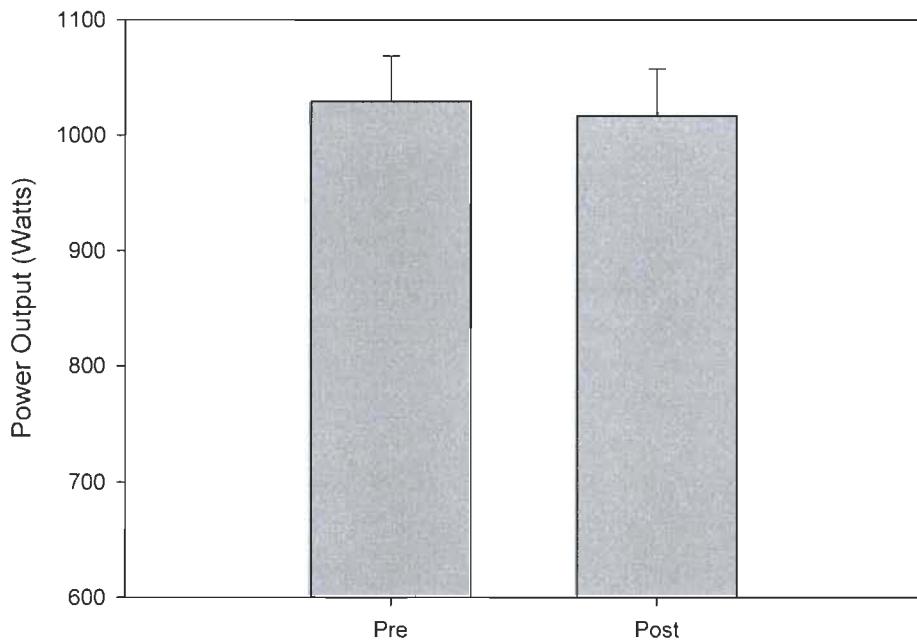


Figure 7-22: Effect of the HIT program on peak power output during the power test. Data are presented as means \pm SEM.

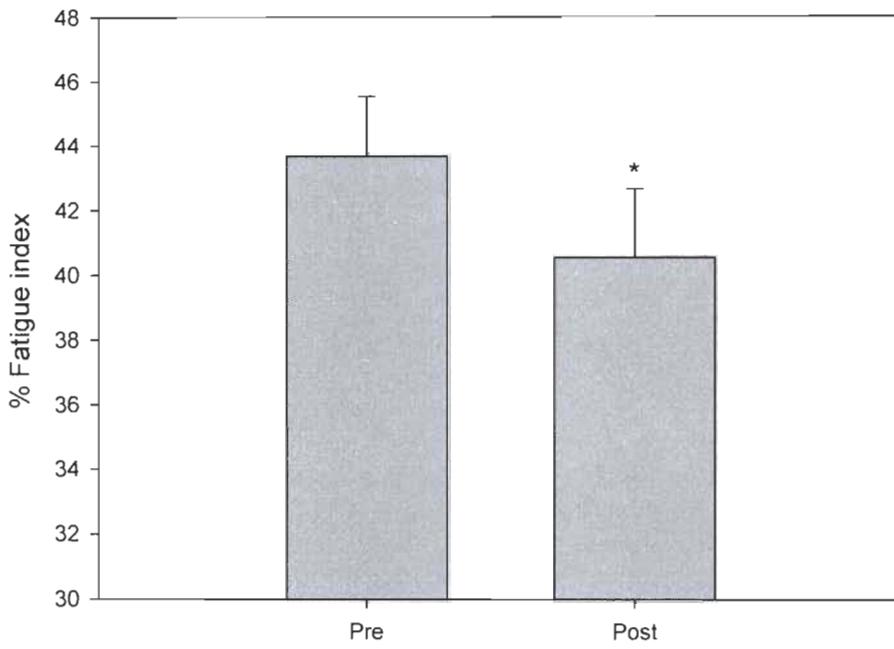


Figure 7-23: Effect of the HIT program on fatigue index at power test. * $p < 0.01$; significantly pre-post difference. Data are presented as means \pm SEM.

7.6 Discussion

To our knowledge, this study is the first that uses concurrently two instruments/parameters : the NIRS, to analyze peripheral muscle responses, and the Physio-flow, to analyse central cardiac response, in well-trained athletes following the completion of a program of interval training at high intensity (115% of MAP), in mountain bike cyclists. The interval training protocol at high intensity (HIT) was designed specifically in the light of our observations on the World Cup mountain bike course in St-Félicien (Quebec, Canada) 2007. We observed that the race included frequent short effort sequences at 115% of MAP, followed immediately by sub-maximal effort sequences. In order to replicate this dynamic context, we designed a high intensity interval training program which embodied a ratio of charging time of 20 seconds at 115% of MAP, followed by 40 seconds of active recovery at about 60% of MAP. Thus, this study measured the effects of a program of eight HIT session's interval, in duration 4 weeks, on central cardiovascular processes and skeletal muscle oxygenation adaptations in mountain bike cyclists. Our most convincing results were mainly observed in the peripheral physiological components at sub-maximal intensities. The main findings of this study following the HIT program are: (1) an increase in TSI% in the MAP test, (2) a reduction in HHb at intensity near the lactate threshold during the MAP test, (3) an improvement in maximal aerobic power, lactate threshold and Ve/VO₂ at the MAP test, (4) no significant change in stroke volume (SVmax), heart rate max, cardiac output (Qmax), arterial oxygen saturation (SpO₂) and O₂ pulse during the MAP test, (5) an improvement in performance duration and power output at the virtual TT test, (6) an improvement of blood lactate and oxygen consumption during the initial training as

compared to the last training, and finally (7) an improvement of the fatigue index during the power test.

Because no significant improvement was observed in cardiac output (Q) and $\text{VO}_2 \text{ max}$ in the MAP test following the HIT program, we suggest that the "density of training" in our protocol was insufficient. Indeed, with average intervals of 20 sec at 115% of the MAP with payback periods of 40 sec at 60% of the MAP, the maximum average load in % of $\text{VO}_2 \text{ max}$ ranged from 78.4% to 80.6% (Δ -15 min 60min; \uparrow 4.1%) in pre training and from 74.8% to 76.5% (Δ -15 min 60min; \uparrow 1.7%) in post training. Although interval training reached over MAP (115%), central physiological parameters were not changed, including the absolute peak VO_2 , heart rate max, stroke volume max, cardiac output (Q) max and O_2 pulse max. These results do not corroborate those of Rowell (1993), who stated that the augmented release of oxygen during high-intensity exercise may be ascribable to an increase in cardiac output. Neary and al. (Neary, McKenzie et al. 2002) have shown that central adaptations were observed from a training program that used lower levels of effort, ranging in 85 to 90% of $\text{VO}_2 \text{ max}$. However, these authors estimated the improvement of the central component from the O_2 pulse, whereas our study used a non-invasive device which measured it directly. Moreover, Laursen and al. (Laursen, Shing et al. 2005) stated that peripheral adaptations rather than central adaptations are likely to be responsible for the improved performances witnessed in well-trained endurance athletes following various forms of high-intensity interval training programs. Gorostiaga et al. (Gorostiaga EM 1991) have shown that interval training program in the form of 30 seconds of intense effort at 100% of MAP and 30 sec recovery effort at 50% of MAP, 30 min a day and 3 times a week for 8 weeks, was effective to increase $\text{VO}_2 \text{ max}$. In the present study, no significant

improvement was associated with absolute peak VO_2 (L/min) in our subjects. However, 8 of 11 subjects improved their absolute peak VO_2 (L/min).

Skeletal muscle oxygenation

The oxygen saturation index (TSI%) showed significant improvement in most levels of effort intensity (160 W, 190 W, 220 W, 250 W) during the MAP post-test. However, deoxyhemoglobin (HHb) was only decreased at 250 Watts, which corresponded to 90% in pre-training and 84.4% in post-training at the MAP test. Because oxygen extraction (HHb) was significantly reduced at post training, other variables may be needed to explain why the TSI% was improved. We surmise that the improvement in TSI%, during the post MAP test and the last training may have required less of the anaerobic system since lactatemia was decreased for a given sub-maximal intensity during the MAP test. This increase in skeletal muscle oxygen saturation was perhaps consequential to a reduced ATP cost of muscle force production that reduced O_2 cost of sub-maximal exercise (Bailey, Fulford et al. 2010). Better cycling efficiency could be a consequence of an enhanced fiber recruitment since type II fibers have lower efficiency compared to type I fibers. Szentesi and al. (2001) demonstrated that ATP utilization for sarcoplasmic reticulum calcium pumping in slow fiber type is considerably lower than in fast fiber type, a fact that may account why cycling efficiency was increased at sub-maximal intensity in this study (Szentesi, Zaremba et al. 2001). Moreover, it is possible that the significant improvement in the ratio of the volume of air ventilating the lungs to the volume of oxygen consumed (V_E/VO_2) during the MAP test and the index of fatigue during the power test caused the improved oxygen saturation in the muscle (TSI%).

Improved V_E/VO_2 may have contributed to improving the mechanical efficiency of cycling in our subjects.

7.7 Conclusion

The purpose of this study was to quest for more knowledge on the effects of a program of high intensity training (HIT) in mountain bike cyclists, specifically, measuring the response to a 4 week program on physiological variables related to the oxygenation of skeletal muscle. The current results of this study indicate that the adaptations produced by a program of HIT at 115% of MAP induce peripheral rather than central adaptations. An explanation of these improvements could be the existence of muscular oxygen-cycling adaptations, witnessed by an increase in TSI% following the training program. These peripheral adaptations could be also explained by an increase in muscle capillarization, increased myoglobin concentration and mitochondrial density, resulting in better utilization of oxygen by the muscle. An increase in the concentration of myoglobin would step up the storage capacity and oxygen transport in muscle cells. Finally, further research will be needed to identify the best class of HIT protocol, those producing significant physiological adaptations, and to help discriminate between central and peripheral adaptations in humans.

7.8 Bibliography

- Åstrand, P.-O., T. E. Cuddy, et al. (1964). "Cardiac output during submaximal and maximal work." Journal of Applied Physiology **19**(2): 268-274.
- Åstrand, P.-O. and K. Rodahl (1986). "Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. Singapore: McGraw-Hill Book Company. "
- Bailey, S. J., J. Fulford, et al. (2010). "Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans." Journal of Applied Physiology **109**(1): 135-148.
- Belardinelli, R., T. J. Barstow, et al. (1995). "Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology **70**(6): 487-492.
- Bhambhani, Y., S. Buckley, et al. (1999). "Muscle oxygenation trends during constant work rate cycle exercise in men and women." Medicine And Science In Sports And Exercise **31**(1): 90-98.
- Bhambhani, Y. N., S. M. Buckley, et al. (1997). "Detection of ventilatory threshold using near infrared spectroscopy in men and women." Medicine And Science In Sports And Exercise **29**(3): 402-409.
- Boushel, R., F. Pott, et al. (1998). "Muscle metabolism from near infrared spectroscopy during rhythmic handgrip in humans." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology **79**(1): 41-48.
- Cane, J., B. Seidman, et al. (1996). "A Comparison of the Computrainer Load Simulator and Traditional Cycle Ergometry 1239." Medicine & Science in Sports & Exercise **28**(5): 208.
- Chance, B., J. S. Leigh, Jr., et al. (1985). "Control of oxidative metabolism and oxygen delivery in human skeletal muscle: a steady-state analysis of the work/energy cost transfer function." Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America **82**(24): 8384-8388.
- Conley DL, K. G. (1980). "Running economy and distance running performance of highly trained athletes." Medicine and Science in Sports and Exercise **5**(12): 357-360.
- Coyle, E. F., A. R. Coggan, et al. (1988). "Determinants of endurance in well-trained cyclists." Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985) **64**(6): 2622-2630.
- DeLorey, D. S., J. M. Kowalchuk, et al. (2003). "Relationship between pulmonary O₂ uptake kinetics and muscle deoxygenation during moderate-intensity exercise." Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985) **95**(1): 113-120.

- Duncan, A., J. H. Meek, et al. (1995). "Optical pathlength measurements on adult head, calf and forearm and the head of the newborn infant using phase resolved optical spectroscopy." Physics In Medicine And Biology **40**(2): 295-304.
- Ekblom, B. and L. Hermansen (1968). "Cardiac output in athletes." Journal of Applied Physiology **25**(5): 619-625.
- Gledhill, N., D. Cox, et al. (1994). "Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function." Medicine And Science In Sports And Exercise **26**(9): 1116-1121.
- Gorostiaga EM, W. C., Foster C, Hickson RC. (1991). "Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity." Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1991; 63(2):101-7.
- Impellizzeri, F. M. and S. M. Marcora (2007). "The physiology of mountain biking." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) **37**(1): 59-71.
- Laursen, P. B. and D. G. Jenkins (2002). "The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) **32**(1): 53-73.
- McCully, K. K. and T. Hamaoka (2000). "Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle?" Exercise And Sport Sciences Reviews **28**(3): 123-127.
- Neary and J. Patrick (2004). Application of near infrared spectroscopy to exercise sports science. Champaign, IL, ETATS-UNIS, Human Kinetics Publishers.
- Neary, J. P., D. C. McKenzie, et al. (2002). "Effects of short-term endurance training on muscle deoxygenation trends using NIRS." Medicine And Science In Sports And Exercise **34**(11): 1725-1732.
- Plotnick, G. D., L. C. Becker, et al. (1986). "Use of the Frank-Starling mechanism during submaximal versus maximal upright exercise." American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology **251**(6): H1101-H1105.
- Sako, T. (2010). "The effect of endurance training on resting oxygen stores in muscle evaluated by near infrared continuous wave spectroscopy." Advances In Experimental Medicine And Biology **662**: 341-346.
- Spina, R. J., T. Ogawa, et al. (1992). "Exercise training prevents decline in stroke volume during exercise in young healthy subjects." Journal of Applied Physiology **72**(6): 2458-2462.
- Stapelfeldt, B., A. Schwirtz, et al. (2004). "Workload demands in mountain bike racing." International Journal Of Sports Medicine **25**(4): 294-300.

- Stepto, N. K., D. T. Martin, et al. (2001). "Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists." Medicine And Science In Sports And Exercise **33**(2): 303-310.
- Szentesi, P., R. Zaremba, et al. (2001). "ATP utilization for calcium uptake and force production in different types of human skeletal muscle fibres." The Journal of Physiology **531**(2): 393-403.
- Tabata, I., K. Nishimura, et al. (1996). "Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO_{2max}." Medicine And Science In Sports And Exercise **28**(10): 1327-1330.
- Vella, C. A. and R. A. Robergs (2005). "A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects." British Journal Of Sports Medicine **39**(4): 190-195.
- Westgarth-Taylor, C., J. A. Hawley, et al. (1997). "Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology **75**(4): 298-304.
- Weston, A. R., K. H. Myburgh, et al. (1997). "Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology **75**(1): 7-13.
- Zavorsky, G. S. (2000). "Evidence and Possible Mechanisms of Altered Maximum Heart Rate With Endurance Training and Tapering." Sports Medicine **29**(1): 13-26.
- Zhou, B., R. K. Conlee, et al. (2001). "Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners." Medicine & Science in Sports & Exercise **33**(11): 1849-1854.

8. CONCLUSION GÉNÉRALE

Le but de cette étude était d'obtenir de plus amples connaissances sur les effets d'un programme d'entraînement de haute intensité (HIT) sur les variables physiologiques liées à l'oxygénation du muscle squelettique chez des cyclistes de vélo de montagne. Les résultats les plus probants de cette étude indiquent que les adaptations physiologiques produites par un programme de HIT à 115% de la puissance aérobie maximale (PAM) améliorent l'oxygénation du muscle squelettique plutôt que des adaptations centrales. En effet, nous observons une augmentation de l'indice de saturation en oxygène (TSI%) et de la lactatémie sans toutefois observer des changements au niveau du débit cardiaque. Ces adaptations périphériques pourraient s'expliquer par une augmentation de la capillarisation musculaire, de la concentration en myoglobine et de la densité des mitochondries, ce qui entraînerait une meilleure utilisation de l'oxygène par le muscle. Une augmentation de la concentration de la myoglobine serait renforcée par la capacité de stockage et le transport d'oxygène dans les cellules musculaires.

Les résultats lors du test de performance ont été améliorés de façon significative. Le parcours virtuel construit à partir des données du terrain nous a permis de reproduire en bonne partie la réalité des courses de VTT. Les 8 séances d'entraînement réalisées en laboratoire ont amélioré significativement le travail au seuil lactique et par conséquent, le parcours virtuel permettait de valider ce paramètre physiologique.

Enfin, des recherches plus poussées seront nécessaires pour identifier les meilleurs protocoles d' HIT, qui permettront de distinguer entre ceux qui permettent des adaptations centrales et périphériques chez les cyclistes de compétition.

9. LIMITES, PERSPECTIVES ET RETOMBÉES

En entreprenant cette recherche, nous voulions apporter notre contribution scientifique en comblant certaines lacunes identifiées dans la littérature qui porte sur l'entraînement par intervalles à des intensités supra maximales. Il est plutôt rare de retrouver dans la littérature des études qui documentent suffisamment l'implantation de programme d'entraînement conçu à partir des exigences observables sur le terrain lors de compétitions ou lors d'entraînement.

Malgré une certaine rigueur méthodologique, plusieurs limites de cette recherche doivent cependant être rapportées. Il aurait été préférable de réaliser cette étude lorsque les athlètes étaient en période de compétition ou immédiatement après celle-ci. Pour certains athlètes, cette étude constituait un retour à l'entraînement après une période de transition. Ceci fait en sorte que les adaptations physiologiques sont plus notables durant cette période que durant une période plus intensive. Le choix d'avoir évalué les athlètes en laboratoire lors du test de performance nous a permis de mesurer les paramètres physiologiques, mais sans tenir compte des composantes techniques et de la variété des types de surface que les vététistes ont à affronter en condition réelle. Cet aspect demeure un déterminant majeur dans la performance en compétition du vététiste. L'utilisation du test de PAM de 5 minutes nous a permis d'obtenir plus de précision sur les paramètres physiologiques à chaque palier d'effort, tel que la dérive cardiovasculaire et l'extraction périphérique de l'oxygène du muscle vaste latéral, ce qui fait en sorte, que, la PAM de certains sujets pourrait avoir été légèrement sous-estimée. De ce fait, nous avons constaté que certains sujets avaient plus de facilité que d'autres à réaliser le programme d'entraînement, et ce, d'autant

plus que le sujet démontrait une PAM élevée. Après quelques séances, nous observons que certains sujets s'étaient plus facilement adaptés à cette charge, mais nous ne pouvons affirmer que ceci est le résultat de différences interindividuelles ou d'une sous-estimation de la PAM. En principe, pour obtenir davantage d'adaptation suite au programme HIT, il aurait été souhaitable de pouvoir réajuster tout au long du protocole l'intensité des fractions d'efforts supra-maximales de 40 secondes. Aussi, il aurait été préférable d'avoir un groupe contrôle sans supervision pour mieux évaluer les retombées réelles de ce programme et de bonifier la valeur scientifique de cette recherche pour publication.

Une autre limite de notre étude concerne la difficulté à contrôler les sujets en dehors des séances d'entraînement supervisées. Nous présumons qu'il est possible que certains sujets aient réalisé des entraînements à des intensités variables, ce qui est peu probable, puisque ces derniers avaient reçu des indications strictes à ce sujet. Néanmoins, nous ne pouvons exclure que certains aient eu recours à d'autres séances intenses, ce qui aurait pu altérer les résultats de façon positive et négative. Le niveau d'implication des sujets a été identifié comme étant la clé du succès de cette étude. L'assiduité, le respect de l'horaire, le respect des consignes et la qualité des efforts réalisés en laboratoire ont été des éléments significatifs au bon déroulement du protocole. C'est pourquoi nous sommes d'avis que cette étude représente une valeur scientifique ajoutée à la littérature actuelle.

Le domaine d'étude auquel nous nous sommes intéressés a très peu été investigué et laisse donc la place à de nombreuses pistes de recherche. En ce qui concerne les effets de ce type de programme d'entraînement, il pourrait être intéressant par exemple de vérifier l'effet de ce même type de programme en

manipulant l'intensité de la période de récupération. Nous croyons qu'en augmentant de 5 à 10% la période de récupération, les effets sur les composantes centrales auraient été améliorés davantage.

Ainsi, nous croyons que cette étude aura un impact autant sur la qualité des planifications des programmes d'entraînement des athlètes. Nous avons démontré qu'un programme d'entraînement pouvait être construit à la lumière des données obtenues sur le terrain et selon les exigences de l'activité. De plus, les résultats de ce projet de recherche seront facilement transférables dans d'autres sports à dominante aérobie et cyclique. Nous présumons aussi que cela suscitera de l'intérêt et que d'autres chercheurs souhaiteront investiguer davantage sur le sujet.

10. RÉFÉRENCES

- Acevedo, E. O. and A. H. Goldfarb (1989). "Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance." Medicine And Science In Sports And Exercise 21(5): 563-568.
- Astrand, I., P. O. Astrand, et al. (1960). "Intermittent muscular work." Acta Physiologica Scandinavica 48: 448-453.
- Astrand, I., P. O. Astrand, et al. (1960). "Myohemoglobin as an oxygen-store in man." Acta Physiologica Scandinavica 48: 454-460.
- Bar-Or, O. (1987). "The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 4(6): 381-394.
- Baron, R. (2001). "Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists." Medicine And Science In Sports And Exercise 33(8): 1387-1393.
- Bassett, D. R., Jr. and E. T. Howley (2000). "Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance." Medicine And Science In Sports And Exercise 32(1): 70-84.
- Belardinelli, R., T. J. Barstow, et al. (1995). "Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology 70(6): 487-492.
- Bertucci, W., S. Duc, et al. (2005). "Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM Device." International Journal Of Sports Medicine 26(10): 868-873.
- Bhambhani, Y., S. Buckley, et al. (1999). "Muscle oxygenation trends during constant work rate cycle exercise in men and women." Medicine And Science In Sports And Exercise 31(1): 90-98.
- Bhambhani, Y. N., S. M. Buckley, et al. (1997). "Detection of ventilatory threshold using near infrared spectroscopy in men and women." Medicine And Science In Sports And Exercise 29(3): 402-409.
- Bishop, D. (1997). "Reliability of a 1-h endurance performance test in trained female cyclists." Medicine & Science in Sports & Exercise 29(4): 554-559.

- Bouchard, C., Taylor, A.W., Simoneau, J.A. and Dulac, S. (1991). "Testing anaerobic power and capacity." Physiological testing of the high-performance athlete 2nd edition. Champaign: Human Kinetics: 175-221.
- Cane, J., B. Seidman, et al. (1996). "A Comparison of the Computrainer Load Simulator and Traditional Cycle Ergometry 1239." Medicine & Science in Sports & Exercise 28(5): 208.
- Chance, B., J. S. Leigh, Jr., et al. (1985). "Control of oxidative metabolism and oxygen delivery in human skeletal muscle: a steady-state analysis of the work/energy cost transfer function." Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America 82(24): 8384-8388.
- Costill, D. L. (1986). "Inside running." Basics of Sports Physiology. Carmel, IN: Benchmark Press.
- Daniels, J. and N. Scardina (1984). "Interval training and performance." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 1(4): 327-334.
- Earnest, C. P., C. Foster, et al. (2009). "Time trial exertion traits of cycling's Grand Tours." International Journal Of Sports Medicine 30(4): 240-244.
- Ekblom, B. and L. Hermansen (1968). "Cardiac output in athletes." Journal of Applied Physiology 25(5): 619-625.
- Esfarjani, F. and P. B. Laursen (2007). "Manipulating high-intensity interval training: effects on VO_{2max}, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males." Journal Of Science And Medicine In Sport / Sports Medicine Australia 10(1): 27-35.
- Faria, E. W., D. L. Parker, et al. (2005). "The science of cycling: factors affecting performance - part 2." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 35(4): 313-337.
- Faria, E. W., D. L. Parker, et al. (2005). "The science of cycling: physiology and training - part 1." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 35(4): 285-312.
- Fernández-García, B., J. Pérez-Landaluce, et al. (2000). "Intensity of exercise during road race pro-cycling competition." Medicine And Science In Sports And Exercise 32(5): 1002-1006.
- Gledhill, N., D. Cox, et al. (1994). "Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function." Medicine And Science In Sports And Exercise 26(9): 1116-1121.

Gregory, J., D. P. Johns, et al. (2007). "Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance." Journal Of Strength And Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association 21(1): 17-22.

Hawley, J. A. (1995). "State of the art training guidelines for endurance performance." Journal of Sports Medicine & Science in Sports & Exercise 2: 7-12.

Holloszy, J. O. and E. F. Coyle (1984). "Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences." Journal Of Applied Physiology: Respiratory, Environmental And Exercise Physiology 56(4): 831-838.

Impellizzeri, F., A. Sassi, et al. (2002). "Exercise intensity during off-road cycling competitions." Medicine And Science In Sports And Exercise 34(11): 1808-1813.

Impellizzeri, F. M. and S. M. Marcora (2007). "The physiology of mountain biking." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 37(1): 59-71.

Impellizzeri, F. M., S. M. Marcora, et al. (2005). "Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists." British Journal Of Sports Medicine 39(10): 747-751.

Jackson, A. S. and M. L. Pollock (1977). "Prediction accuracy of body density, lean body weight, and total body volume equations." Medicine And Science In Sports 9(4): 197-201.

Jeukendrup, A., W. Saris, et al. (1996). A new validated endurance performance test, [S.I.] : Lippincott Williams & Wilkins.

Jones, A. M. and D. C. Poole (2005). Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medecine. New York.

Joyner, M. J. and E. F. Coyle (2008). "Endurance exercise performance: the physiology of champions." The Journal Of Physiology 586(1): 35-44.

Laursen, P. B., M. A. Blanchard, et al. (2002). "Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males." Canadian Journal Of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquée 27(4): 336-348.

Laursen, P. B. and D. G. Jenkins (2002). "The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 32(1): 53-73.

- Lee, H., D. T. Martin, et al. (2002). "Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists." Journal of Sports Sciences 20(12): 1001-1008.
- Lepretre, P.-M., C. Foster, et al. (2005). "Heart rate deflection point as a strategy to defend stroke volume during incremental exercise." Journal of Applied Physiology 98(5): 1660-1665.
- Lindsay, F. H., J. A. Hawley, et al. (1996). "Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training." Medicine And Science In Sports And Exercise 28(11): 1427-1434.
- Lucia, A., C. Earnest, et al. (2003). "The Tour de France: a physiological review." Scandinavian Journal Of Medicine & Science In Sports 13(5): 275-283.
- Luciá, A., J. Hoyos, et al. (1999). "Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France." International Journal Of Sports Medicine 20(3): 167-172.
- Lucia, A., J. Hoyos, et al. (2003). "Giro, Tour, and Vuelta in the same season." British Journal Of Sports Medicine 37(5): 457-459.
- Lucía, A., H. Joyos, et al. (2000). "Physiological response to professional road cycling: climbers vs. time trialists." International Journal Of Sports Medicine 21(7): 505-512.
- MacDougall, J. D., A. L. Hicks, et al. (1998). "Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training." Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985) 84(6): 2138-2142.
- MacRae, H.-H., K. J. Hise, et al. (2000). "Effects of front and dual suspension mountain bike systems on uphill cycling performance." Medicine And Science In Sports And Exercise 32(7): 1276-1280.
- McGawley, K. and D. Bishop (2006). "Reliability of a 5 × 6-s maximal cycling repeated-sprint test in trained female team-sport athletes." European Journal Of Applied Physiology 98(4): 383-393.
- Mujika, I. and S. Padilla (2001). "Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists." Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 31(7): 479-487.
- Neary, J. P., K. Hall, et al. (2001). "Vastus medialis muscle oxygenation trends during a simulated 20-km cycle time trial." European Journal Of Applied Physiology 85(5): 427-433.

Padilla, S., I. Mujika, et al. (1999). "Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling." Medicine And Science In Sports And Exercise 31(6): 878-885.

Padilla, S., I. Mujika, et al. (2000). "Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling." Medicine And Science In Sports And Exercise 32(4): 850-856.

Padilla, S., I. Mujika, et al. (2008). "Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week races." European Journal Of Applied Physiology 102(4): 431-438.

Prins, L., E. Terblanche, et al. (2007). "Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers." Journal of Sports Sciences 25(8): 927-935.

Richard, R., E. Lonsdorfer-Wolf, et al. (2001). "Non-invasive cardiac output evaluation during a maximal progressive exercise test, using a new impedance cardiograph device." European Journal Of Applied Physiology 85(3): 202-207.

Richardson, R. S., C. A. Harms, et al. (2000). "Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system?" Medicine & Science in Sports & Exercise 32(1): 89.

Sahlin, K. (1992). "Non-invasive measurements of O₂ availability in human skeletal muscle with near-infrared spectroscopy." International Journal Of Sports Medicine 13 Suppl 1: S157-S160.

Sako, T. (2010). "The effect of endurance training on resting oxygen stores in muscle evaluated by near infrared continuous wave spectroscopy." Advances In Experimental Medicine And Biology 662: 341-346.

Stapelfeldt, B., A. Schwirtz, et al. (2004). "Workload demands in mountain bike racing." International Journal Of Sports Medicine 25(4): 294-300.

Stepto, N. K., J. A. Hawley, et al. (1999). "Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance." Medicine And Science In Sports And Exercise 31(5): 736-741.

Stepto, N. K., D. T. Martin, et al. (2001). "Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists." Medicine And Science In Sports And Exercise 33(2): 303-310.

Swain, D. P. (1994). "The influence of body mass in endurance bicycling." Medicine And Science In Sports And Exercise 26(1): 58-63.

Tabata, I., K. Irisawa, et al. (1997). "Metabolic profile of high intensity intermittent exercises." Medicine And Science In Sports And Exercise 29(3): 390-395.

Vella, C. A. and R. A. Robergs (2005). "A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects." British Journal Of Sports Medicine 39(4): 190-195.

Warner, S. E., J. M. Shaw, et al. (2002). "Bone mineral density of competitive male mountain and road cyclists." Bone 30(1): 281-286.

Wells, C. L. and R. R. Pate (1988). "Training for performance of prolonged exercise." Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine (Auckland, N.Z.) 1.

Westgarth-Taylor, C., J. A. Hawley, et al. (1997). "Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology 75(4): 298-304.

Weston, A. R., K. H. Myburgh, et al. (1997). "Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists." European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology 75(1): 7-13.

Wilber, R. L., K. M. Zawadzki, et al. (1997). "Physiological profiles of elite off-road and road cyclists." Medicine And Science In Sports And Exercise 29(8): 1090-1094.

Wingo, J. E., D. J. Casa, et al. (2004). "Influence of a Pre-Exercise Glycerol Hydration Beverage on Performance and Physiologic Function During Mountain-Bike Races in the Heat." J. Athl. Train. 39 (2): 169-175.

ANNEXE A

DONNÉES DES TABLEAUX DIVERS

APPENDIX A-1

Physiological characteristics

PRE													
Subjets	Max. VO _{2max} (ml/m/kg)	Vo ₂ (ml/m)	PAM (watts)	4mM (watts)	Max. ventilation VE (l/m)	VE/VO ₂	HR _{max} (bpm)	SV	CO	LVET	EDV	TSI %	HHb
1	56,2	3945	250	175	155,5	39,4	166	130	21,3		143		
2	58,4	4893	310	213	169,97	34,7	192					-9,07	13,1
3	65,5	5132	310	216	177,26	34,5	193	131	23,5	176	144	-12,68	16,69
4	60,4	3796	250	205	137,4	36,2	190	95	18,2		105	-12,15	12,51
5	67,4	5220	310	208	214,98	41,2	190	135	25,6	235	149	-17,31	22,62
6	57,0	4786	280	203	183,49	38	194	110	21,5	225	126		2,62
7	70,4	4964	370	264	180,68	37,5	190						33,46
8	52,4	4065	280	226	157	38,6	182	107	19,6	226	116	-22,56	
9	53,8	3823	250	178	149,24	39	188					-19,72	24,32
10	69,7	4392	280	207	179,9	40,9	193					-10,61	20,81
11	59,0	4483	310	246	153,78	34,5	176						6,32
\bar{X}	60,9	4499,9	290,9	212,8	169,0	37,7	186,7	118	21,6	215,5	130,5	-14,87	16,9
Écart-type	6,3	532,2	36,2	26,0	21,4	2,4	8,7	16,2	2,7	26,7	17,7	5,0	9,5
SEM	2,00	168,30	11,44	8,22	6,78	0,77	2,76	5,13	0,84	8,45	5,59	1,59	3,01

POST													
Subjets	Max. VO _{2max} (ml/m/kg)	Vo ₂ (ml/m)	PAM (watts)	4mM (watts)	Max. ventilation VE (l/m)	VE/VO ₂	HR _{max} (bpm)	SV	CO	LVET	EDV	TSI %	HHb
1	62,4	4276	280	206	137,7	32,2	175	129	22,7		141		
2	58,2	4875	340	269	154,09	31,6	187					-8,89	9,71
3	67,5	5228	310	234	187,42	35,9	187	124	22,8	148	168	-8,23	7,82
4	63,9	3964	280	214	150,8	38,1	198	89	17,8	242	100	-5,78	18,14
5	63,1	4885	310	230	223,68	47,8	190	133	25,9	257	138	-9,27	20,32
6	61,6	5095	310	257	190	37,3	191	125	23,3	236	136		4,41
7	74,5	5178	370	284	190,1	36,7	189					-16,68	27,45
8	56,2	4373	310	231	178,5	40,8	190	115	21,8	264	123		
9	52,0	3705	310	228	143,69	38,8	192					-5,32	12,88
10	71,8	4404	310	215	176,6	40,1	190					-7,17	5,44
11	60,9	4560	310	250	152,96	33,6	181					-3,64	8,39
\bar{X}	62,9	4594,8	312,7	238,0	171,4	37,5	188,2	119,2	22,4	229,4	134,3	-8,123	12,7
Écart-type	6,5	503,2	24,9	24,4	25,9	4,6	6,0	16,0	2,6	46,9	22,4	4,0	7,7
SEM	2,07	159,13	7,89	7,71	8,20	1,44	1,89	5,05	0,83	14,82	7,07	1,25	2,44

APPENDIX A-2

Mesures anthropométriques

Sujets	Âge	Poids (Kg)	Grandeur (cm)	PRE					
				Skinfold Sum (mm)					
				Biceps	Triceps	Sous-scapulaire	Crête iliaque	Mollet	Somme
1	46	71,00	166,20	3,10	5,40	6,30	5,90	3,20	23,90
2	35	83,50	183,00	6,00	2,60	7,40	14,20	7,20	37,40
3	29	78,60	185,00	4,00	7,60	14,10	17,20	4,30	47,20
4	47	63,90	168,50	2,10	3,60	8,20	7,60	3,20	24,70
5	30	77,10	172,50	2,70	5,20	6,20	6,70	3,80	24,60
6	28	84,30	174,00	5,40	16,40	13,20	19,20	13,40	67,60
7	26	70,60	178,00	2,90	4,20	5,00	8,00	5,00	25,10
8	29	78,10	177,00	3,30	7,20	9,85	22,50	6,25	49,10
9	46	71,20	170,00	3,20	7,60	9,80	15,40	4,20	40,20
10	33	61,80	173,00	2,60	7,30	6,30	8,50	4,30	29,00
11									
X	35	74,01	174,72	3,53	6,71	8,64	12,52	5,49	36,88
SE	8	7,62	6,08	1,25	3,84	3,08	5,92	3,06	14,45
SEM	2,6	2,4	1,9	0,4	1,2	1,0	1,9	1,0	4,6

Sujets	Âge	Poids (Kg)	Grandeur (cm)	POST					
				Skinfold Sum (mm)					
				Biceps	Triceps	Sous-scapulaire	Crête iliaque	Mollet	Somme
1	46	71,00	166,20	2,35	4,35	7,10	5,70	2,90	22,40
2	35	84,30	183,00	5,80	3,35	7,90	11,55	6,90	35,50
3	29	77,30	185,00	4,20	6,60	10,20	12,20	4,60	37,80
4	47	62,70	168,50	1,50	3,00	7,00	6,00	2,00	19,50
5	30	77,40	172,50	2,70	4,80	6,50	6,90	3,80	24,70
6	28	83,70	174,00	5,05	16,90	11,35	18,20	9,70	61,20
7	26	69,50	178,00	2,40	3,80	4,60	6,60	4,80	22,20
8	29	77,80	177,00	3,20	7,10	9,40	18,60	7,00	45,30
9	46	71,40	170,00	2,65	6,30	9,00	20,40	3,15	41,50
10	33	61,40	173,00	2,30	6,10	7,00	8,40	4,10	27,90
11									
X	35	73,65	174,72	3,22	6,23	8,01	11,46	4,90	33,80
SE	8	7,88	6,08	1,37	4,01	1,99	5,71	2,33	13,11
SEM	2,6	2,5	1,9	0,4	1,3	0,6	1,8	0,7	4,1

APPENDIX A-3

Heart rate at VO₂ max test

n :	PRE								
	11	11	11	11	11	9	5	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1	110	120	134	147	166	166			
2	141	146	155	167	177	188	190		
3	140	142	162	171	179	187	193		
4	139	147	159	174	187				
5	133	135	148	158	174	184	190		
6	152	161	165	181	184	193			
7	139	145	152	162	169	177	181	186	190
8	140	137	150	160	171	182			
9	134	153	165	178	188				
10	148	159	168	162	154	186			
11	127	128	143	156	166	174	176		
̄X	137	143	155	165	174	182	186	186	190
SE	11,14	12,51	10,49	10,21	10,30	8,27	7,18		
SEM	3,4	3,8	3,2	3,1	3,1	2,9	3,2		

n :	POST								
	11	11	11	11	11	11	9	2	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1	110	122	133	146	160	175			
2	123	123	133	147	158	168	177	187	
3	130	136	145	160	172	180	187		
4	145	149	160	173	185	198			
5	125	132	143	159	173	183	193	190	
6	143	145	156	163	175	183	191		
7	133	133	146	157	168	175	181	185	189
8	141	143	152	162	173	183	188		
9	119	133	149	165	177	187	192		
10	132	146	157	169	179	187	188		
11	141	153	163	170	175	178	179		
̄X	131,1	137,7	148,8	161,0	172,3	181,5	186,2	187	189
SE	11,09	10,27	10,06	8,67	7,86	7,88	5,85	2,52	
SEM	3,3	3,1	3,0	2,6	2,4	2,8	2,6	1,1	

APPENDIX A-4

Stroke volume (ml/beat) at VO₂ max test

n :	PRE									
	6	6	6	6	6	4	2	0	0	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	137	143	142	133	122	130				
2										
3	136	137	128	135	137	140	131			
4	105	95	100	107	95					
5	126	130	123	130	133	129	135			
6	112	112	113	116	114	110				
7										
8										
9										
10										
11	115	128	126	124	128					
\bar{X}	121,83	124,17	122,00	124,17	121,50	127,25	133,00			
SE	13,23	17,70	14,27	10,87	15,32	12,53	2,83			
SEM	5,40	7,23	5,83	4,44	6,25	6,26	2,00			

n :	POST									
	6	6	6	6	6	4	2	0	0	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	131	135	140	141	134	136	124			
2										
3	131	133	140	138	144	129				
4	89	97	94	95	103					
5	113	122	122	125	125	120	133			
6	112	117	115	124	124	121				
7										
8										
9										
10										
11	130	140	132	136	139					
\bar{X}	117,67	124,00	123,83	126,50	128,17	126,50	128,50			
SE	16,63	15,75	17,67	16,93	14,58	7,51	6,36			
SEM	6,79	6,43	7,21	6,91	5,95	3,75	4,50			

APPENDIX A-5

Cardiac output (L/min) at VO₂ max test

n :	PRE									
	6	6	7	7	7	5	2	0	0	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	15,1	17,2	18,9	19,1	20,3	21,3				
2										
3	19,2	19,2	20,6	23,1	24,5	26,5	23,5			
4	14,9	14,0	16,0	18,5	18,2					
5	16,6	17,5	18,3	20,6	23,1	24,0	25,6			
6	17,0	18,2	19,0	21,0	21,2	21,5				
7										
8			16,3	17,0	15,9	19,6				
9										
10										
11	14,9	16,4	18,0	19,6	21,5					
X	16,28	17,08	18,16	19,84	20,67	22,58	24,55			
SE	1,69	1,78	1,60	1,96	2,90	2,70	1,48			
SEM	0,69	0,73	0,61	0,74	1,10	1,21	1,05			

n :	POST									
	6	6	7	7	7	5	2	0	0	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	14,3	16,3	18,6	20,2	23,1	22,7				
2										
3	18,1	19,1	20,3	24,1	22,0	24,0	22,8			
4	13,1	14,4	14,9	16,4	19,2	17,8				
5	14,4	16,2	17,4	20,1	21,8	21,9	25,9	20,8		
6	16,3	16,8	18,0	20,1	21,6	22,3	23,3			
7										
8			16,6	17,3	18,8	20,9	21,8			
9										
10										
11	18,5	21,6	21,6	22,9	24,1	24,7	24,8			
X	15,78	17,40	18,20	20,16	21,51	22,04	23,72			
SE	2,21	2,55	2,25	2,75	1,93	2,26	1,63			
SEM	0,90	1,04	0,85	1,04	0,73	1,01	1,15			

APPENDIX A-6

SpO₂ at VO₂ max test

n :	PRE									
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	99	96	95	96						
2	97	95	95	94	93	91	93			
3	95	95	94	90	87	88				
4	98	96	97	98	96					
5	97	96	93	93	94	92				
6	98	98	96	93	92					
7	95	94	93	93	93	92	91	90		
8	99	97	97	96	96					
9	96	96	94	94						
10	98	97	95	93	93	93				
11	98	98	97	97	95	96				
̄X	97	96	95	94	93	92	92	90		
SE	1,42	1,25	1,51	2,28	2,73	2,61	1,41			
SEM	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,0			

n :	POST									
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	98	98	95	95	93	93				
2	97	97	96	95	94	92	91			
3	97	94	92	87	86	87				
4	99	97	97	96	93					
5	97	96	95	92	92	90	87			
6	96	96	95	95	94	93	94			
7	95	94	95	93	93	91	91	91		
8	97	98	96	98	97	97	95			
9	97	98	98	93	96	89				
10	99	98	95	93	94	93				
11	96	96	95	97	95	94				
̄X	97	97	95	94	93	92	92	91		
SE	1,22	1,51	1,50	2,97	2,84	2,81	3,13			
SEM	0,4	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9	1,4			

APPENDIX A-7

Lactatemia at VO₂ max test

n :	PRE									
	11	11	11	11	11	8	5	1	1	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	1,6	3,0	5,0	7,7	12,2					
2	1,2	1,9	2,7	4,4	6,4	10,2	13,6			
3	2,1	1,9	2,8	4,2	6,8	13,4	14,1			
4	0,9	1,7	2,7	5,3	9,3					
5	1,7	1,7	2,9	4,7	7,3	12,9	15,1			
6	1,3	1,9	3,7	4,4	6,9	12,8				
7	1,0	1,2	1,3	2,0	3,3	4,8	7,1	10,4	13,2	
8	1,2	1,6	2,3	3,6	5,7	10,8				
9	1,9	2,7	4,9	7,7	8,9					
10	2,4	2,6	2,8	6,1	9,4	14,4				
11	1,2	1,4	1,8	2,6	4,3	8,3	10,6			
̄X	1,5	2,0	3,0	4,8	7,3	11,0	12,1	10,4	13,2	
SE	0,5	0,6	1,1	1,8	2,5	3,2	3,3			
SEM	0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	1,1	1,5			

n :	POST									
	11	11	11	11	11	8	5	1	1	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	1,4	2,0	3,1	4,8	7,3					
2	1,3	0,8	1,3	1,8	3,0	4,6	7,6			
3	1,4	1,3	1,7	3,0	5,2	8,9	14,4			
4	1,4	1,8	2,7	4,3	7,8					
5	1,2	1,4	2,1	3,1	5,8	10,7	15,0			
6	0,8	0,8	1,6	2,1	3,0	7,2				
7	0,8	0,8	0,8	1,1	1,9	3,7	5,9	10,6	13,3	
8	1,1	1,0	1,7	3,2	5,3	8,4				
9	1,0	1,3	1,9	3,3	6,1					
10	2,0	2,1	2,1	4,4	8,4	14,1				
11	1,0	1,2	1,8	2,7	4,0	7,2	9,8			
̄X	1,2	1,3	1,9	3,1	5,3	8,1	10,5	10,6	13,3	
SE	0,34	0,47	0,63	1,14	2,11	3,31	4,05			
SEM	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	1,2	1,8			

APPENDIX A-8

VO₂ at VO₂ max test

n :	PRE									
	11	11	11	11	11	9	5	1	1	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	2,35	2,82	3,17	3,49	3,94	3,95				
2	2,55	2,98	3,37	3,79	4,14	4,61	4,89			
3	2,64	3,17	3,40	3,96	4,34	4,87	5,13			
4	2,29	2,58	2,99	3,36	3,80					
5	2,44	2,90	3,50	3,76	4,17	4,79	5,22			
6	2,43	2,94	3,40	3,95	4,32	4,79				
7	2,61	2,83	3,20	3,58	3,93	4,19	4,41	4,64	4,96	
8	2,26	2,50	3,02	3,40	3,70	4,07				
9	2,37	2,74	3,06	3,41	3,82					
10	2,45	2,89	3,33	3,69	4,01	4,39				
11	2,48	2,77	3,17	3,72	4,05	4,37	4,48			
\bar{X}	2,44	2,83	3,24	3,65	4,02	4,45	4,83	4,64	4,96	
SE	0,12	0,18	0,17	0,21	0,21	0,34	0,37			
SEM	0,04	0,06	0,05	0,06	0,06	0,11	0,17			

n :	POST									
	11	11	11	11	11	11	9	2	1	
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	
1	2,39	2,81	3,07	3,45	3,89	4,28				
2	2,31	2,66	3,05	3,41	3,85	4,13	4,38	4,88		
3	2,63	3,02	3,36	3,81	4,31	4,69	5,23			
4	2,25	2,59	2,93	3,31	3,68					
5	2,31	2,65	3,14	3,45	3,86	4,28	4,84	4,89		
6	2,51	2,87	3,26	3,63	4,08	4,47	5,10			
7	2,62	2,93	3,26	3,65	3,94	4,25	4,56	4,86	5,18	
8	2,34	2,64	3,02	3,32	3,71	4,04	4,37			
9	1,71	2,05	2,43	2,94	3,18		3,70			
10	2,37	2,81	3,21	3,58	3,89	4,19	4,40			
11	2,67	3,10	3,46	3,73	4,03	4,35	4,56			
\bar{X}	2,37	2,74	3,11	3,48	3,86	4,30	4,57	4,87	5,18	
SE	0,27	0,28	0,27	0,24	0,29	0,19	0,45	0,01		
SEM	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,06	0,15	0,01		

APPENDIX A-9

 V_E at $\text{VO}_2 \text{ max test}$

n :	PRE								
	11	11	11	11	11	9	5	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1	60,3	76,4	93,1	109,3	134,6	155,5			
2	56,6	60,8	76,9	90,5	108,2	154,2	170,0		
3	67,3	74,8	83,1	100,7	125,5	159,6	177,3		
4	50,4	57,5	71,4	95,7	137,4				
5	54,4	63,4	80,3	87,6	118,5	172,1	215,0		
6	52,6	70,2	83,6	110,8	130,2	181,8			
7	61,7	66,0	73,9	86,8	95,6	108,4	126,1	158,6	180,7
8	57,5	59,0	75,5	89,8	113,2	157,0			
9	60,8	76,1	87,3	115,7	149,2				
10	60,6	66,3	83,6	98,8	123,0	179,5			
11	59,7	62,5	76,1	91,8	113,6	141,5	153,8		
\bar{X}	58,3	66,6	80,4	97,9	122,6	156,6	168,4	158,6	180,7
SE	4,7	6,8	6,4	10,1	15,1	22,3	32,6		
SEM	1,4	2,1	1,9	3,0	4,5	7,4	14,6		

n :	POST								
	11	11	11	11	11	10	5	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1	63,9	77,5	86,6	98,8	111,7	137,7			
2	58,4	62,4	72,5	82,5	90,6	98,0	111,3		
3	67,7	75,9	69,9	81,1	105,3	139,0	187,4		
4	49,6	59,4	63,8	87,8	113,5				
5	50,9	58,6	69,7	79,1	104,3	129,5	195,0		
6	58,9	66,0	77,0	87,2	106,0	123,5			
7	64,7	71,9	75,5	86,5	96,1	108,0	135,6	165,7	190,1
8	54,1	66,6	71,2	84,5	109,7	148,8			
9	38,2	44,3	57,0	73,9	89,7				
10	59,9	67,5	77,1	97,4	123,5	165,5			
11	66,2	76,6	92,0	98,3	115,3	141,3	153,0		
\bar{X}	57,5	66,1	73,8	87,0	105,9	132,4	156,5	165,7	190,1
SE	8,8	9,8	9,7	8,2	10,5	20,5	35,1		
SEM	2,6	3,0	2,9	2,5	3,2	6,8	15,7		

APPENDIX A-10

VE/VO₂ at VO₂ max test

PRE									
n :	11	11	11	11	11	9	5	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1	25,60	27,10	29,40	31,30	34,20	39,40			
2	22,20	20,50	22,80	23,90	26,10	33,50	34,70		
3	25,50	23,50	24,40	25,40	28,90	32,80	34,50		
4	22,00	22,30	23,90	28,50	36,20				
5	22,30	21,80	22,90	23,30	28,50	35,90	41,20		
6	21,70	23,90	24,60	28,00	30,20	38,00			
7	23,70	23,30	23,10	24,20	24,30	25,80	28,60	34,10	37,50
8	25,50	23,60	25,00	26,40	30,60	38,60			
9	25,60	27,80	28,50	33,90	39,00				
10	24,70	23,00	25,10	26,80	30,70	40,90			
11	24,00	22,60	24,00	24,70	28,10	32,40	34,50		
\bar{X}	23,89	23,58	24,88	26,95	30,62	35,26	34,70	34,10	37,50
SE	1,60	2,14	2,17	3,30	4,34	4,67	4,46		
SEM	0,48	0,65	0,65	0,99	1,31	1,56	1,99		

POST									
n :	11	11	11	11	11	9	5	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1	26,70	27,60	28,20	28,60	28,70	32,20			
2	25,30	23,40	23,80	24,20	23,50	23,70	25,40		
3	25,80	25,10	20,80	21,30	24,40	29,60	35,90		
4	22,10	22,90	21,70	26,60	30,90				
5	22,10	22,10	22,20	22,90	27,00	30,30	40,30		
6	23,40	23,00	23,60	24,10	26,00	27,70			
7	24,60	24,50	23,10	23,70	24,40	25,40	29,80	34,10	36,70
8	23,10	25,20	23,60	25,50	29,60	36,80			
9	22,40	21,60	23,40	25,10	28,20				
10	25,30	24,10	24,00	27,20	31,70	39,50			
11	24,80	24,70	26,60	26,40	28,60	32,50	33,60		
\bar{X}	24,15	24,02	23,73	25,05	27,55	30,86	33,00	34,10	36,70
SE	1,60	1,68	2,09	2,09	2,73	5,09	5,70		
SEM	0,48	0,51	0,63	0,63	0,82	1,70	2,55		

APPENDIX A-11

TSI% at VO₂ max test

PRE									
n :	8	8	9	9	8	6	1	1	8
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	130-max
1									
2	-2,51	-5,71	-7,05	-7,58	-8,86	-9,07			-6,56
3	-3,63	-6,26	-6,69	-8,50	-11,36	-12,68			-9,05
4	-6,00	-7,40	-10,94	-11,28	-12,15				-6,15
5	-1,48	-9,70	-15,90	-16,74	-17,98	-17,31			-15,84
6			-0,20	-2,53	-5,51	-4,63			
7	-4,72	-9,33	-12,85	-16,11	-21,65	-26,33	-27,93	-30,41	-25,68
8									
9	-8,47	-15,57	-18,87	-22,56					-14,09
10	-9,44	-12,74	-13,47	-17,77	-19,72				-10,28
11	-2,32	-4,48	-7,45	-9,07	-9,98	-10,61			-8,30
\bar{X}	-4,82	-8,90	-10,38	-12,46	-13,40	-13,44	-27,93	-30,41	-11,99
SE	2,94	3,76	5,65	6,25	5,72	7,57			6,50
SEM	1,04	1,33	1,88	2,08	2,02	3,09			2,30

POST									
n :	10	10	11	11	11	10	5	1	10
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	130-max
1	-5,28	-8,24	-10,86	-23,52	-38,39	-48,62			-43,35
2	-0,79	-2,47	-3,90	-6,11	-7,33	-8,80	-8,89		-8,10
3	-4,01	-5,58	-6,82	-7,11	-6,86	-8,23	-7,36		-3,35
4	-2,19	-3,95	-4,95	-5,70	-5,78				-3,59
5	-1,18	-2,75	-5,28	-7,73	-8,69	-9,27	-8,95		-7,77
6			-3,40	-4,34	-5,45	-7,41	-8,16		
7	-6,52	-9,93	-12,68	-14,83	-14,75	-15,75	-16,64	-16,68	-10,16
8	-3,69	-6,80	-9,13	-10,72	-10,72	-11,05			-7,36
9	-0,86	-2,56	-3,75	-4,61	-3,28	-5,32			-4,46
10	-3,94	-5,64	-6,39	-7,13	-7,17	-6,43			-2,49
11	-0,51	-1,15	-2,29	-2,95	-3,64	-3,17			-2,66
\bar{X}	-5,70	-7,71	-9,12	-11,42	-12,99	-15,21	-12,81	-16,68	-9,33
SE	2,09	2,83	3,31	5,93	9,90	13,17	3,77		11,62
SEM	0,66	0,89	1,00	1,79	2,98	4,17	1,68		3,67

APPENDIX A-12

HHb at VO₂ max test

n :	PRE								
	7	9	9	9	9	8	5	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1									
%									
2	5,31	7,35	9,72	11,47	12,53	13,13	13		
%	40,4	56,0	74,0	87,4	95,4	100,0	99,0		
3	7,1	9,68	10,71	12,91	15,46	16,69	15,54		
%	42,5	58,0	64,2	77,4	92,6	100,0	93,1		
4	2,66	4,8	9,11	10,3	12,51				
%	21,3	38,4	72,8	82,3	100,0				
5	0,93	11,23	17,96	19,18	21,67	21,66	22,62		
%	4,1	49,6	79,4	84,8	95,8	95,8	100,0		
6		0,92	1,19	2,13	2,62	1,97			
%		35,1	45,4	81,3	100,0	75,2			
7	11,21	14,78	18,17	20,89	25,29	28,52	30,41	32,51	33,46
%	33,5	44,2	54,3	62,4	75,6	85,2	90,9	97,2	100,0
8									
9	9,57	16,23	19,86	23,71	24,32				
%	39,4	66,7	81,7	97,5	100,0				
10	9,59	13,6	17,83	19,86	20,26	20,81			
%	46,1	65,4	85,7	95,4	97,4	100,0			
11		1,96	3,29	4,34	5,29	6,06	6,32		
%		31,0	52,1	68,7	83,7	95,9	100,0		
X	32,47	49,38	67,73	81,91	93,39	93,15	96,60	97,16	100,00
SE	14,88	13,05	14,38	11,40	8,43	9,49	4,29		
SEM	4,96	4,35	4,79	3,80	2,81	3,35	1,92		

n :	POST								
	8	9	9	9	9	9	7	1	1
Subjets	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w
1									
%									
2	0,54	2,79	4,13	6,72	8,17	9,71			
%	5,6	28,7	42,5	69,2	84,1	100,0			
3	0,67	2,53	4,42	5,83	5,88	7,3	7,82		
%	8,6	32,4	56,5	74,6	75,2	93,4	100,0		
4	10,01	13,03	14,2	16,27	16,93	18,14			
%	55,2	71,8	78,3	89,7	93,3	100,0			
5	3,15	5,5	9,46	13,66	16,95	19,12	20,32		
%	15,5	27,1	46,6	67,2	83,4	94,1	100,0		
6	1,47	2,03	2,7	3,18	3,65	4,41	4,26		
%	33,3	46,0	61,2	72,1	82,8	100,0	96,6		
7	12,17	15,96	18,76	22,12	22,46	24,01	25,8	26,8	27,45
%	44,3	58,1	68,3	80,6	81,8	87,5	94,0	97,6	100,0
8									
9	0,32	3,1	4,81	7,67	5,9	11,53	12,88		
%	2,5	24,1	37,3	59,5	45,8	89,5	100,0		
10		0,61	1,81	3,23	4,2	4,78	5,44		
%		11,2	33,3	59,4	77,2	87,9	100,0		
11	3,22	4,52	5,42	6,21	7,19	8,08	8,39		
%	38,4	53,9	64,6	74,0	85,7	96,3	100,0		
X	25,42	39,26	54,30	71,81	78,82	94,29	98,66	97,63	100,00
SE	19,92	19,37	15,25	9,63	13,40	5,16	2,42		
SEM	6,64	6,46	5,08	3,21	4,47	1,83	1,08		

tHB at VO₂ max test

		PRE															
n :		9	9	9	9	9	9	8	8	7	7	1	1	1	1	9	
Subjets		130w	Δ	160w	Δ	190w	Δ	220w	Δ	250w	Δ	280w	Δ	310w	Δ	340w	130-max
1																	
2	9,59	0,81	10,40	-0,75	9,65	-0,34	9,31	-0,41	8,89	-2,08	6,81					-2,78	
3	11,28	0,23	11,51	0,71	12,22	-0,30	11,92	-1,48	10,44	-3,47	6,97					-4,31	
4	-5,19	0,97	-4,22	-0,75	-4,97	-0,76	-5,74	1,31	-4,42							0,77	
5	-0,48	0,55	0,07	1,06	1,13	0,18	1,31	1,42	2,73	0,15	2,88					3,36	
6	-1,22	-0,71	-1,93	-1,14	-3,07	0,35	-2,72	-3,73	-6,45	-3,10	-9,55					-8,33	
7	9,70	-0,35	9,35	1,17	10,52	-0,79	9,73	2,01	11,74	-0,18	11,56	-0,30	11,26	0,20	11,46	1,76	
8																	
9	-1,42	1,49	0,08	0,06	0,14	0,46	0,60									2,02	
10	5,01	0,69	5,70	-0,67	5,03	-1,20	3,83	-2,33	1,49	-3,80	-2,31					-7,32	
11	1,09	-3,36	-2,27	-3,93	-6,21	-2,39	-8,60	-3,42	-12,01	-2,92	-14,94					-16,03	
̄X	3,15	0,03	3,19	-0,47	2,71	-0,53	2,18	-0,63	1,55	-1,35	0,20	-0,30	11,26	0,20	11,46	-3,43	
SE	5,93	1,36	6,08	1,56	6,95	0,89	7,17	2,26	8,63	1,59	9,63					6,32	
SEM	1,98	0,45	2,03	0,52	2,32	0,30	2,39	0,80	3,05	0,60	3,64					2,11	

		POST															
		POST															
n :		11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	5	5	1	1	11	
Subjets		130w	Δ	160w	Δ	190w	Δ	220w	Δ	250w	Δ	280w	Δ	310w	Δ	340w	130-max
1	4,38	3,44	7,82	3,57	11,39	4,43	15,82	3,30	19,12	3,23	22,35						17,97
2	-4,82	2,52	-2,30	0,53	-1,77	1,03	-0,74	-0,60	-1,34	-0,82	-2,15	-1,40	-3,56			1,26	
3	-1,32	1,09	-0,23	0,13	-0,09	0,12	0,03	-1,72	-1,69	-1,36	-3,05	-2,39	-5,44			-4,12	
4	14,12	-1,32	12,80	-2,88	9,93	0,10	10,02	-0,30	9,73							-4,40	
5	4,43	0,45	4,88	1,04	5,92	-1,25	4,67	1,29	5,96	1,76	7,71	1,68	9,40			4,96	
6	1,19	0,58	1,77	-0,35	1,43	-1,32	0,10	-1,84	-1,74	-2,70	-4,45	-3,50	-7,94			-9,13	
7	4,49	-0,89	3,61	-2,13	1,48	1,91	3,39	0,32	3,70	-1,39	2,31	0,14	2,45	0,42	2,87	-1,62	
8	0,37	-0,70	-0,33	-0,27	-0,60	-1,17	-1,77	0,14	-1,63	-0,12	-1,75					-2,11	
9	3,33	0,81	4,15	-0,29	3,85	1,02	4,87	1,23	6,10	0,05	6,15					2,81	
10	-1,79	0,65	-1,14	-0,44	-1,58	-0,86	-2,43	-0,76	-3,19	-0,28	-3,47					-1,68	
11	12,15	-0,11	12,04	-0,64	11,39	-0,61	10,79	-1,89	8,90	-1,78	7,12					-5,03	
̄X	3,32	0,59	3,92	-0,16	3,76	0,31	4,07	-0,08	3,99	-0,34	3,08	-1,09	-1,02	0,42	2,87	-0,10	
SE	5,71	1,42	5,15	1,66	5,13	1,74	5,93	1,58	6,86	1,74	8,21	1,83	6,97			7,16	
SEM	1,72	0,43	1,55	0,50	1,55	0,52	1,79	0,48	2,07	0,53	2,60	0,82	3,12			2,16	

APPENDIX A-14

% SpO₂ training 1 and 8

Subjets	Training 1				
	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60 min
1	95	95	95	93	-2,0
2	94	94	93	94	0,0
3	91	91	89	89	-2,0
4	94	96	95	96	2,0
5	95	95	96	95	0,0
6	94	94	94	94	0,0
7	92				
8	97	97			
9	94	93	95	92	-2,0
10	93	94	92	93	0,0
MEAN	93,9	94,3	93,6	93,3	-0,7
SE	1,7	1,7	2,3	2,1	0,5
SEM	0,53	0,58	0,75	0,75	0,16

Subjets	Training 8				
	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60 min
1	95	95	95	93	-2,0
2	94	94	94	92	-2,0
3	93	92	91	92	-1,0
4	96	95	95	97	1,0
5	93	94	94	94	1,0
6	95	95	94	94	-1,0
7	91				
8	96	96			
9	94	93	93	94	0,0
10	94	93	94	94	0,0
MEAN	94,1	94,1	93,8	93,8	-0,5
SE	1,5	1,3	1,3	1,6	1,2
SEM	0,48	0,42	0,45	0,56	0,42

APPENDIX A-15

Lactatémia training 1 and 8

Subjets	Training 1				
	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60 min
1		6,9		7,2	
2	6,2	6,2	7,3	4,3	-1,9
3	6,7	8,4	10,3	9,2	2,5
4	3,6	3,9	4,4	3,4	-0,2
5	5,9	5,9	4,8	4,7	-1,2
6	4,8	5,7	14	13	8,2
7					
8	4,8	5,3	5		
9	4,2	4,8	4,3	5,1	0,9
10	7,6	7,4	9,4	9,4	1,8
MEAN	5,5	6,1	7,4	7,0	1,56
SE	1,4	1,4	3,5	3,3	1,94
SEM	0,43	0,46	1,18	1,16	0,74

Subjets	Training 8				
	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60 min
1		7,1		4,6	
2	2,4	3,1	3,4	5	2,6
3	6,3	7	8,6	8,9	2,6
4	3	3,2	3,3	3,9	0,9
5	6	6,2	5,4	4,8	-1,2
6	3,1	3,2	3	2,4	-0,7
7					
8	4,8	6,6	7,9		
9	3,2	3,4	4,1	3,8	0,6
10	3,9	4,4	5,7	6,3	2,4
MEAN	4,1	4,9	5,2	5,0	0,87
SE	1,5	1,8	2,1	1,9	0,49
SEM	0,46	0,59	0,71	0,69	0,23

APPENDIX A-16

% V_O₂ training 1 and 8

Subjets	Training 1				
	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60 min
1	79,2	81,3	82,1	83,6	4,4
2	75,8	75,1	74,9	74,8	-1,0
3	75,6	79,3	82,4	83,3	7,7
4	74,9	76,7	77,7	79,3	4,4
5	66,9	69,8	70,8	71,9	5,0
6	75,1	77,4	80,6	85,4	10,3
7	81,6	83,6			
8	80,6	82,1	81,5		
9	76,5	79,6	79,6	83,1	6,6
10	78,4	79,0	80,2	83,4	5,0
MEAN	76,5	78,4	78,9	80,6	4,1
SE	4,1	4,0	3,8	4,8	0,7
SEM	1,30	1,25	1,28	1,71	0,26

Subjets	Training 8				
	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60 min
1	79,4	82,1	84,0	84,0	4,6
2	65,9	66,5	65,7	65,2	-0,7
3	75,0	77,4	79,8	81,6	6,6
4	73,5	74,9	75,5	76,9	3,4
5	69,2	71,1	71,7	73,4	4,2
6	72,1	72,4	72,8	72,4	0,3
7	82,8	83,7			
8	78,4	79,6	80,2		
9	75,5	75,3	77,3	78,6	3,1
10	75,7	77,0	77,9	79,5	3,8
MEAN	74,8	76,0	76,1	76,5	1,7
SE	4,9	5,2	5,4	6,0	1,0
SEM	1,56	1,64	1,81	2,11	0,37

ANNEXE A-17

O₂Hb - Training 1 and 8

Training 1						
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	88,91	67,10	65,92	65,23	65,26	-1,84
2	69,40	62,10	60,40	61,19	63,52	1,42
3						
4	68,36	69,15	68,58	67,83	67,95	-1,21
5	80,44	63,72	62,41	64,26	65,47	1,75
6	40,86	35,62	34,96	33,72	32,64	-2,98
7	90,34	64,93				
8	79,57	66,01	62,55	64,95		
9	81,44	63,99	64,10	65,16	65,81	1,82
10	72,83	68,80	69,50	70,27	70,52	1,72
11						
MEAN	74,7	62,4	61,1	61,6	61,6	0,1
SE	14,9	10,3	11,0	11,6	13,0	2,0
SEM	4,95	3,44	3,89	4,09	4,90	0,77

Training 8						
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	84,64	70,00	70,04	70,19	71,15	1,15
2	69,50	68,34	69,39	69,87	71,55	3,21
4	83,31	79,05	78,16	78,69	79,49	0,44
5	91,08	70,67	69,06	70,10	70,46	-0,22
6	40,39	37,97	37,03	38,05	38,58	0,61
7	94,57	63,47				
8	62,11	56,22	53,97	53,93		
9	74,36	70,32	71,10	71,49	72,16	1,84
10	73,00	86,45	70,05	70,88	72,53	-13,92
MEAN	74,8	66,9	64,9	65,4	68,0	-1,0
SE	16,6	13,8	13,1	13,0	13,3	5,8
SEM	5,53	4,61	4,63	4,61	5,03	2,20

ANNEXE A-17b

 O_2Hb - Training 1 and 8 (from baseline)

		Training 1					
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	$\Delta 15-60$	
1	88,91	-21,81	-22,99	-23,68	-23,65	-1,84	
2	69,40	-7,29	-9,00	-8,20	-5,88	1,42	
3							
4	68,36	0,79	0,22	-0,53	-0,42	-1,21	
5	80,44	-16,72	-18,03	-16,18	-14,97	1,75	
6	40,86	-5,25	-5,90	-7,14	-8,23	-2,98	
7	90,34	-25,41					
8	79,57	-13,56	-17,02	-14,62			
9	81,44	-17,45	-17,33	-16,28	-15,63	1,82	
10	72,83	-4,02	-3,32	-2,56	-2,30	1,72	
11							
MEAN	74,7	-12,3	-11,7	-11,1	-10,2	0,1	
SE	14,9	8,8	8,3	7,9	8,3	2,0	
SEM	4,95	2,95	2,93	2,78	3,14	0,77	

		Training 8					
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	$\Delta 15-60$	
1	84,64	-14,63	-14,60	-14,45	-13,49	1,15	
2	69,50	-1,16	-0,11	0,37	2,05	3,21	
3							
4	83,31	-4,26	-5,14	-4,62	-3,82	0,44	
5	91,08	-20,41	-22,02	-20,99	-20,63	-0,22	
6	40,39	-2,42	-3,35	-2,34	-1,81	0,61	
7	94,57	-31,10					
8	62,11	-5,89	-8,14	-8,17			
9	74,36	-4,04	-3,26	-2,87	-2,20	1,84	
10	73,00	13,44	-2,96	-2,13	-0,47	-13,92	
11							
MEAN	74,8	-7,8	-7,4	-6,9	-5,8	-1,0	
SE	16,6	12,8	7,3	7,3	8,2	5,8	
SEM	5,53	4,25	2,60	2,59	3,09	2,20	

APPENDIX - A-18

TSI% - Training 1 and 8

Training 1						
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	49,93	19,59	10,87	5,88	2,70	-16,89
2	61,17	55,58	54,28	55,16	56,68	1,10
3						
4	51,46	46,34	45,95	46,39	46,25	-0,09
5	55,09	39,62	37,54	38,32	37,89	-1,73
6	61,72	57,15	57,25	56,90	56,70	-0,45
7	55,32	33,90	31,45			
8	52,20	42,30	41,43	43,47		
9	51,15	38,67	38,82	37,63	34,70	-3,98
10	52,26	43,35	41,71	41,91	41,80	-1,55
11						
MEAN	54,5	41,8	39,9	40,7	39,5	-3,4
SE	4,3	11,3	13,6	15,8	18,4	6,2
SEM	1,37	3,57	4,52	5,26	6,49	2,18

Training 8						
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	58,28	38,43	36,88	33,94	32,92	-5,51
2	60,11	48,97	49,40	49,66	50,39	1,43
3						
4	53,20	42,67	41,04	39,92	38,80	-3,87
5	59,23	38,79	37,18	36,56	35,08	-3,71
6	69,76	65,39	63,90	63,90	64,23	-1,16
7	63,47	25,24	26,02			
8	56,69	51,45	51,05	51,33		
9	53,63	46,29	46,10	45,57	45,27	-1,02
10	61,03	45,14	43,75	42,73	41,29	-3,85
11						
MEAN	59,5	44,7	43,9	45,5	44,0	-2,5
SE	5,1	10,9	10,7	9,6	10,7	2,4
SEM	1,61	3,45	3,55	3,19	3,79	0,84

APPENDIX - A-18b

TSI% - Training 1 and 2 (from baseline)

Subjets	Training 1					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	49,93	-30,35	-39,06	-44,06	-47,23	-16,89
2	61,17	-5,58	-6,88	-6,00	-4,49	1,10
3						
4	51,46	-5,12	-5,50	-5,07	-5,21	-0,09
5	55,09	-15,48	-17,55	-16,77	-17,21	-1,73
6	61,72	-4,56	-4,46	-4,82	-5,01	-0,45
7	55,32	-21,42				
8	52,20	-9,89	-10,77	-8,73		
9	51,15	-12,48	-12,33	-13,52	-16,46	-3,98
10	52,26	-8,91	-10,55	-10,35	-10,46	-1,55
11						
MEAN	54,5	-12,6	-13,4	-13,7	-15,2	-3,4
SE	4,3	8,6	11,2	13,0	15,1	6,2
SEM	1,44	2,87	3,96	4,59	5,72	2,33

Subjets	Training 8					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	58,28	-19,85	-21,40	-24,34	-25,36	-5,51
2	60,11	-11,14	-10,71	-10,45	-9,72	1,43
3						
4	53,20	-10,53	-12,17	-13,28	-14,40	-3,87
5	59,23	-20,44	-22,05	-22,68	-24,15	-3,71
6	69,76	-4,37	-5,86	-5,86	-5,53	-1,16
7	63,47	-38,23				
8	56,69	-5,25	-5,65	-5,36		
9	53,63	-7,34	-7,53	-8,06	-8,36	-1,02
10	61,03	-15,89	-17,28	-18,30	-19,74	-3,85
11						
MEAN	59,5	-14,8	-12,8	-13,5	-15,3	-2,5
SE	5,1	10,6	6,7	7,4	7,9	2,4
SEM	1,70	3,53	2,36	2,63	2,99	0,89

APPENDIX A-19

tHB- Training 1 and 8

Subjets	Training 1					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	174,97	174,68	178,20	181,00	184,18	9,50
2	121,15	118,42	118,09	118,38	119,96	1,54
3						
4	131,71	144,92	145,36	143,72	143,32	-1,60
5	151,64	150,36	152,06	153,83	156,15	5,79
6	71,87	69,97	69,45	68,43	67,48	-2,50
7	168,32	165,17	164,36			
8	154,97	148,51	146,80	147,51		
9	165,78	159,91	159,80	161,61	164,47	4,56
10	141,05	145,89	149,51	150,40	151,31	5,42
11						
MEAN	142,4	142,0	142,6	140,6	141,0	3,2
SE	31,7	31,2	31,9	34,0	37,9	4,3
SEM	10,58	10,41	10,64	12,03	14,31	1,63

Subjets	Training 8					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	180,51	171,77	174,57	177,45	179,22	7,45
2	127,81	134,97	137,63	138,85	140,09	5,12
3						
4	157,30	170,70	171,17	172,20	173,49	2,78
5	165,11	161,88	162,54	164,05	165,44	3,56
6	71,85	71,93	72,36	73,50	74,10	2,17
7	170,56	173,39	170,69			
8	117,59	115,38	113,81	113,25		
9	147,44	155,41	157,11	158,18	159,40	3,99
10	169,81	162,00	162,77	165,13	167,87	5,87
11						
MEAN	145,3	146,4	147,0	145,3	151,4	4,4
SE	34,4	33,8	34,0	35,6	36,3	1,8
SEM	11,48	11,28	11,34	12,60	13,71	0,70

APPENDIX A-19b

tHB- Training1 and 2 (from baseline)

Subjets	Training 1					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	174,97	-0,29	3,23	6,03	9,21	9,50
2	121,15	-2,73	-3,06	-2,77	-1,19	1,54
3						
4	131,71	13,21	13,65	12,01	11,61	-1,60
5	151,64	-1,27	0,43	2,19	4,52	5,79
6	71,87	-1,90	-2,42	-3,44	-4,39	-2,50
7	168,32	-3,15				
8	154,97	-6,46	-8,17	-7,46		
9	165,78	-5,87	-5,98	-4,17	-1,31	4,56
10	141,05	4,84	8,46	9,36	10,26	5,42
11						
MEAN	142,4	-0,4	0,8	1,5	4,1	3,2
SE	31,7	6,1	7,4	7,1	6,5	4,3
SEM	10,58	2,03	2,61	2,49	2,44	1,63

Subjets	Training 8					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	180,51	-8,74	-5,94	-3,05	-1,29	7,45
2	127,81	7,16	9,83	11,04	12,28	5,12
3						
4	157,30	13,40	13,87	14,90	16,19	2,78
5	165,11	-3,22	-2,57	-1,06	0,33	3,56
6	71,85	0,08	0,51	1,65	2,25	2,17
7	170,56	2,83				
8	117,59	-2,21	-3,78	-4,34		
9	147,44	7,97	9,67	10,74	11,96	3,99
10	169,81	-7,81	-7,04	-4,68	-1,94	5,87
11						
MEAN	145,3	1,1	1,8	3,2	5,7	4,4
SE	34,4	7,5	8,1	7,9	7,5	1,8
SEM	11,48	2,49	2,87	2,78	2,85	0,70

APPENDIX A-20

HHb - Training 1 and 8

Subjets	Training 1					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	86,06	107,58	112,28	115,80	118,92	11,34
2	51,75	56,32	57,70	57,19	56,44	0,12
3						
4	63,35	75,77	76,78	75,88	75,38	-0,39
5	71,19	86,64	89,65	89,56	90,68	4,04
6	31,01	34,36	34,50	34,71	34,84	0,48
7	77,97	100,24	102,85			
8	75,40	82,50	84,25	82,56		
9	84,34	95,92	95,70	96,45	98,67	2,74
10	68,22	77,08	80,01	80,14	80,78	3,70
11						
MEAN	67,7	79,6	81,5	79,0	79,4	3,1
SE	17,4	22,8	23,7	24,6	27,7	4,0
SEM	5,79	7,59	8,37	8,69	10,46	1,52

Sujets	Training 8					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	95,87	101,77	104,53	107,27	108,07	6,30
2	58,31	66,63	68,24	68,97	68,54	1,91
3						
4	73,99	91,65	93,01	93,51	94,00	2,35
5	74,02	91,21	93,48	93,95	94,98	3,77
6	31,46	33,96	35,32	35,45	35,52	1,56
7	75,99	109,92	109,93			
8	55,48	59,16	59,85	59,32		
9	73,08	85,10	86,01	86,69	87,25	2,15
10	96,81	75,55	92,72	94,25	95,34	19,79
11						
MEAN	70,6	79,4	82,6	79,9	83,4	5,4
SE	20,3	23,5	23,8	23,6	24,2	6,5
SEM	6,77	7,82	8,41	8,35	9,16	2,47

APPENDIX A-20b

HHb - Training 1 and 2 (from baseline)

Subjets	Training 1					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	86,06	21,52	26,22	29,74	32,86	11,34
2	51,75	4,57	5,94	5,44	4,69	0,12
3						
4	63,35	12,42	13,43	12,54	12,03	-0,39
5	71,19	15,45	18,46	18,37	19,49	4,04
6	31,01	3,35	3,49	3,70	3,83	0,48
7	77,97	22,27				
8	75,40	7,11	8,86	7,16		
9	84,34	11,58	11,35	12,10	14,32	2,74
10	68,22	8,86	11,79	11,92	12,56	3,70
11						
MEAN	67,7	11,9	12,4	12,6	14,3	3,1
SE	17,4	6,8	7,2	8,3	9,8	4,0
SEM	5,79	2,27	2,55	2,95	3,72	1,52

Subjets	Training 8					
	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	95,87	5,90	8,66	11,40	12,20	6,30
2	58,31	8,32	9,93	10,66	10,23	1,91
3						
4	73,99	17,66	19,01	19,52	20,01	2,35
5	74,02	17,19	19,45	19,93	20,96	3,77
6	31,46	2,50	3,86	3,99	4,06	1,56
7	75,99	33,93				
8	55,48	3,68	4,37	3,83		
9	73,08	12,02	12,93	13,61	14,17	2,15
10	96,81	-21,25	-4,09	-2,55	-1,47	19,79
11						
MEAN	70,6	8,9	9,3	10,0	11,5	5,4
SE	20,3	14,9	8,0	7,9	8,1	6,5
SEM	6,77	4,96	2,82	2,79	3,06	2,47

ANNEXE - A-21

Hb difference - Training 1 and 8

Training 1						
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	2,84	-40,48	-46,36	-50,54	-53,66	-13,18
2	17,64	5,78	2,70	4,00	7,08	1,29
3						
4	5,01	-6,62	-8,20	-8,05	-7,43	-0,82
5	9,25	-22,92	-27,23	-25,30	-25,22	-2,29
6	9,85	1,26	0,46	-1,00	-2,21	-3,46
7	12,37	-35,31	-41,33			
8	4,18	-16,50	-21,70	-17,61		
9	-2,91	-31,94	-31,59	-31,29	-32,86	-0,92
10	4,61	-8,28	-10,51	-9,87	-10,26	-1,98
11						
MEAN	7,0	-17,2	-20,4	-17,5	-17,8	-3,1
SE	6,0	16,5	17,7	17,8	20,8	4,7
SEM	1,90	5,22	5,89	5,94	7,35	1,66

Training 8						
Subjets	Baseline	15 min	30 min	45 min	60 min	Δ15-60
1	-11,23	-31,76	-34,49	-37,08	-36,92	-5,16
2	11,19	1,71	1,15	0,90	3,00	1,29
3						
4	9,32	-12,61	-14,84	-14,82	-14,51	-1,91
5	17,06	-20,54	-24,41	-23,86	-24,52	-3,99
6	8,93	4,01	1,71	2,59	3,06	-0,95
7	18,59	-46,45	-49,17			
8	6,63	-2,94	-5,88	-5,38		
9	1,28	-14,78	-14,91	-15,20	-15,09	-0,31
10	-23,80	10,89	-22,67	-23,38	-22,81	-33,70
11						
MEAN	4,2	-12,5	-18,2	-14,5	-15,4	-6,4
SE	13,7	18,4	16,7	13,6	14,6	12,2
SEM	4,34	5,82	5,56	4,52	5,17	4,33

APPENDIX A-22

Virtual Time Trial Test (TTT)

Subjets	PRE		
	1/2sec. (1)	1/2sec. (2)	Final time sec.
1	1095	1135	2230
2	1070	1086	2156
3	1163	1059	2222
4	1142	1207	2349
5	1058	1008	2066
6	1043	1105	2148
7	957	985	1942
8	1058	1075	2133
9	1249	1275	2524
10	1123	1179	2302
Mean	1096	1111	2207
SE	79	90	161
SEM	25,04	28,37	50,78

Subjets	POST		
	1/2sec. (1)	1/2sec. (2)	Final time sec.
1	1078	1158	2236
2	1016	1048	2064
3	1030	1013	2043
4	1123	1160	2283
5	973	997	1970
6	971	1003	1974
7	916	925	1841
8	1050	1076	2126
9	1214	1222	2436
10	1086	1100	2186
Mean	1046	1070	2116
SE	86	91	175
SEM	27,04	28,76	55,26

Power Output (Watts) at TTT

PRE			
Subjets	\bar{X} Watts 1/2 (1)	\bar{X} Watts 1/2 (2)	\bar{X} Watts finish
1	241	228	234
2	251	253	252
3	225	247	236
4	230	212	221
5	257	271	264
6	273	253	261
7	302	290	296
8	254	242	248
9	206	202	204
10	236	220	228
Mean	248	242	244
SE	26,82	27,06	25,86
SEM	8,48	8,56	8,18

POST			
Subjets	\bar{X} Watts 1/2 (1)	\bar{X} Watts 1/2 (2)	\bar{X} Watts finish
1	237	211	224
2	270	256	263
3	262	268	265
4	234	222	228
5	284	276	280
6	279	265	272
7	311	305	308
8	252	248	250
9	215	213	214
10	243	239	241
Mean	259	250	255
SE	28,30	29,97	28,82
SEM	8,95	9,48	9,11

Lactatemia (mM) at TTT

Subjets	PRE	
	Lact. 1/2 (1)	Lact. 1/2 (2)
1	13,4	12,7
2	9,3	10,7
3	6,4	11,7
4	7,7	7,6
5	14,0	13,8
6	8,1	12,2
7		
8	10,1	11,1
9	10,8	12,0
10	13,0	13,3
Mean	10,3	11,7
SE	2,71	1,82
SEM	0,90	0,61

Subjets	POST	
	Lact. 1/2 (1)	Lact. 1/2 (2)
1	13,8	14,4
2	9	11
3	9,6	13,4
4	8,2	9,8
5	12,2	14,4
6	8,9	12,7
7		
8	9,6	12,9
9	6,2	8,2
10	10,1	11,7
Mean	9,7	12,1
SE	2,20	2,10
SEM	0,73	0,70

Peak power at power test

PRE	
Subjets	Peak power (watts)
1	1021
2	1085
3	1181
4	794
5	906
6	1115
7	1168
8	1085
9	1011
10	928
Mean	1029
SE	123,39
SEM	39,02

POST	
Subjets	Peak power (watts)
1	955
2	1002
3	1140
4	788
5	1091
6	1180
7	1080
8	1135
9	898
10	898
Mean	1017
SE	129,06
SEM	40,81

Fatigue index at power test

PRE	
Subjets	Fatigue index
1	49,3
2	39,17
3	52,41
4	43,83
5	44,92
6	51,84
7	40,84
8	35,76
9	41,74
10	36,96
Mean	43,68
SE	5,93
SEM	1,87

POST	
Subjets	Fatigue index
1	47,10
2	35,63
3	49,56
4	35,28
5	46,1
6	50,00
7	34,72
8	34,71
9	36,19
10	36,19
Mean	40,55
SE	6,69
SEM	2,11

X VO2MAX TEST- PRE

	Nb de sujets	10	10	10	9	9	8	5	1	1	1
	Puissance (watts)	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	400w
O2HB	Δ baseline / 0-30"	-2,542	-3,524	-3,542	-4,519	-6,155	-7,732	-6,706	-5,681	-4,411	-11,210775
	Δ baseline / 30"-60"	-2,176	-4,703	-6,985	-8,580	-10,831	-13,469	-13,231	-13,333	-18,113	-23,594725
	Δ baseline / 2'30"-3'	-2,481	-5,280	-7,928	-9,904	-12,108	-12,838	-13,811	-20,141	-22,396	
	Δ baseline / 4'30"-5'	-2,043	-5,327	-8,536	-10,719	-11,580	-13,614	-19,151	-21,054		
	Δ T4 - T2	0,134	-0,624	-1,550	-2,140	-2,308	-2,466	-3,257	-4,048		
	Δ T4 - R _{post}		-6,447	-10,175	-12,463	-13,091	-16,076	-18,997	-24,561		
THB	Δ baseline / 0-30"	1,444	2,605	2,529	2,810	2,145	1,406	2,248	4,292	13,028	10,78065
	Δ baseline / 30"-60"	2,094	2,646	2,372	2,417	1,201	-0,316	-0,519	0,520	9,223	6,496425
	Δ baseline / 2'30"-3'	2,834	3,476	3,007	2,479	1,363	0,554	0,962	10,562	11,066	
	Δ baseline / 4'30"-5'	3,153	3,187	2,715	2,182	1,552	0,204	11,259	11,459		
	Δ T4 - T2	1,058	0,542	0,342	-0,235	-0,050	-0,781	2,061	2,997		
	Δ T4 - R _{post}		-1,091	-2,319	-2,905	-3,844	-6,450	-2,088	-4,735		
HHB	Δ baseline / 0-30"	3,671	6,139	6,189	7,591	8,696	9,607	9,577	10,273	17,439	21,991475
	Δ baseline / 30"-60"	3,977	7,625	9,725	11,528	12,844	14,102	14,089	15,923	27,336	30,09125
	Δ baseline / 2'30"-3'	5,240	9,017	11,467	13,045	14,483	14,936	17,301	30,704	33,462	
	Δ baseline / 4'30"-5'	5,062	8,949	11,981	13,866	14,454	15,548	30,410	32,513		
	Δ T4 - T2	1,085	1,324	2,256	2,338	2,667	2,196	5,318	7,045		
	Δ T4 - R _{post}		5,968	8,699	10,602	10,573	11,624	16,909	19,827		
TSI %	Δ baseline / 0-30"	-3,349	-6,235	-6,251	-7,640	-8,668	-9,267	-6,941	-8,012	-9,136	-15,38705
	Δ baseline / 30"-60"	-3,599	-7,834	-9,493	-11,193	-12,191	-13,979	-12,716	-14,436	-22,901	-25,89785
	Δ baseline / 2'30"-3'	-5,205	-9,042	-10,432	-11,578	-13,501	-13,115	-15,178	-27,475	-31,778	
	Δ baseline / 4'30"-5'	-4,822	-7,910	-10,379	-12,460	-13,403	-13,440	-27,930	-30,407		
	Δ T4 - T2	-0,782	-1,016	-1,513	-1,782	-2,208	-1,812	-6,860	-9,154		
	Δ T4 - R _{post}		-5,750	-9,034	-10,913	-11,075	-13,877	-23,823	-28,990		

	Baseline									
Lactate (mM)	1,1	1,5	2,0	3,0	4,8	7,3	11,0	12,1	10,4	13,2
Vo2 (ml/m)		2443	2828	3238	3647	4017	4446	4827	4644	4964
VO2max (ml/m/kg)	33,2	38,4	44,0	49,5	54,6	59,0	62,6	65,9	70,4	
%VO2max (ml/m/kg)	54,7	63,3	72,5	81,6	90,0	95,9	97,8	93,6	100,0	
VE (l/m)	58,3	66,6	80,4	97,9	122,6	156,6	168,4	158,6	180,7	
VENO2	23,9	23,6	24,9	26,9	30,6	35,3	34,7	34,1	37,5	
Saturation %	98	97,3	96,2	95,0	94,3	93,2	92,0	92,0	90,0	
Fc	68	137	143	155	165	174	182	186	186	190
SV	86	118	122	122	122	119	121	127		
CO	5,7	16,0	16,9	18,4	19,9	20,9	22,2	23,6		
LVET	348	251	258	270	259	229	202	224		
EDV	104	129	130	132	134	131	134	139		

X VO2MAX TEST- POST

	Nb de sujets	10	10	10	9	9	8	5	1	1	1
	Puissance (watts)	130w	160w	190w	220w	250w	280w	310w	340w	370w	400w
O2HB	Δ baseline / 0-30"	-1,297	-0,936	-0,987	-1,309	-2,319	-3,770	-5,523	-6,621	-14,030	-4,088
	Δ baseline / 30"-60"	-0,325	-1,695	-3,604	-5,508	-6,873	-8,680	-10,434	-12,252	-21,715	-7,898
	Δ baseline / 2'30"-3'	0,209	-1,777	-3,807	-6,029	-7,666	-9,383	-11,254	-20,804	-23,828	
	Δ baseline / 4'30"-5'	0,202	-1,775	-3,817	-6,273	-7,701	-10,422	-14,772	-23,926		
	Δ T4 - T2	0,527	-0,080	-0,213	-0,765	-0,828	-1,735	-2,085	-0,213		
	Δ T4 - R _{post}		-4,563	-6,653	-9,171	-10,078	-11,894	-14,839	-17,030		
THB	Δ baseline / 0-30"	1,093	2,962	2,395	2,541	2,787	2,354	2,274	0,031	-1,199	3,731
	Δ baseline / 30"-60"	1,959	2,944	2,264	2,083	1,895	1,492	1,870	-1,165	-4,968	-0,919
	Δ baseline / 2'30"-3'	3,117	3,407	3,365	3,427	3,340	3,409	-0,174	-3,523	3,625	
	Δ baseline / 4'30"-5'	3,323	3,916	3,759	4,067	3,992	3,077	-1,018	2,871		
	Δ T4 - T2	1,364	0,972	1,495	1,984	2,098	1,988	1,337	3,964		
	Δ T4 - R _{post}		0,081	-0,853	-1,201	-1,358	-1,816	-5,243	-6,756		
HHB	Δ baseline / 0-30"	2,390	3,899	3,382	3,850	5,107	6,124	7,797	6,652	9,107	20,235
	Δ baseline / 30"-60"	2,284	4,639	5,868	7,591	8,768	10,172	12,304	11,087	12,831	24,716
	Δ baseline / 2'30"-3'	2,908	5,183	7,172	9,456	11,006	12,792	11,080	17,280	16,747	
	Δ baseline / 4'30"-5'	3,121	5,690	7,576	10,340	11,693	13,500	13,754	26,797		
	Δ T4 - T2	0,837	1,052	1,708	2,749	2,926	3,723	3,422	4,178		
	Δ T4 - R _{post}		4,644	5,800	7,971	8,720	10,077	9,596	10,274		
TSI %	Δ baseline / 0-30"	-2,131	-3,559	-3,764	-4,242	-5,194	-6,056	-7,293	-5,910	-9,179	-12,151
	Δ baseline / 30"-60"	-1,953	-4,170	-5,570	-7,100	-7,943	-9,309	-11,015	-8,568	-12,164	-15,076
	Δ baseline / 2'30"-3'	-2,574	-4,510	-6,093	-8,109	-9,640	-10,996	-8,062	-11,638	-16,903	
	Δ baseline / 4'30"-5'	-2,805	-4,682	-6,315	-8,613	-10,188	-12,404	-10,000	-16,680		
	Δ T4 - T2	-0,852	-0,512	-0,745	-1,513	-2,244	-2,707	-1,142	-2,428		
	Δ T4 - R _{post}		-3,022	-4,383	-6,302	-7,477	-9,179	-7,433	-7,155		

	Baseline									
Lactate (mM)	1,2	1,2	1,3	1,9	3,1	5,3	8,8	11,6	11,1	13,3
Vo2 (ml/m)		2373	2740	3108	3478	3856	4198	4570	4874	5178
VO2max (ml/m/kg)	32,6	37,7	42,7	47,9	53,0	57,7	61,1	63,8	74,5	
%VO2max (ml/m/kg)	51,8	59,8	67,9	76,1	84,4	91,9	97,4	98,0	100,0	
VE (l/m)	57,5	66,1	73,8	87,0	105,9	132,6	162,8	184,5	190,1	
VE/VO2	24,1	24,0	23,7	25,1	27,5	31,7	35,6	37,8	36,7	
Saturation %	98	97,1	96,5	95,4	94,0	93,4	91,9	91,6	91,0	
Fc	73	131	138	149	161	172	182	186	187	189
SV	85	114	120	119	121	122	116	119	101	
CO	6,1	15,2	16,8	17,7	19,3	20,9	21,2	22,6	19,0	
LVET	358	261	269	262	264	253	235	226	240	
EDV	103	125	131	129	128	131	127	130	126	116

Analyse du parcours à l'allure de course

- Facteur d'ondulation : 10 échantillons

* PAM du sujet : 370 watts

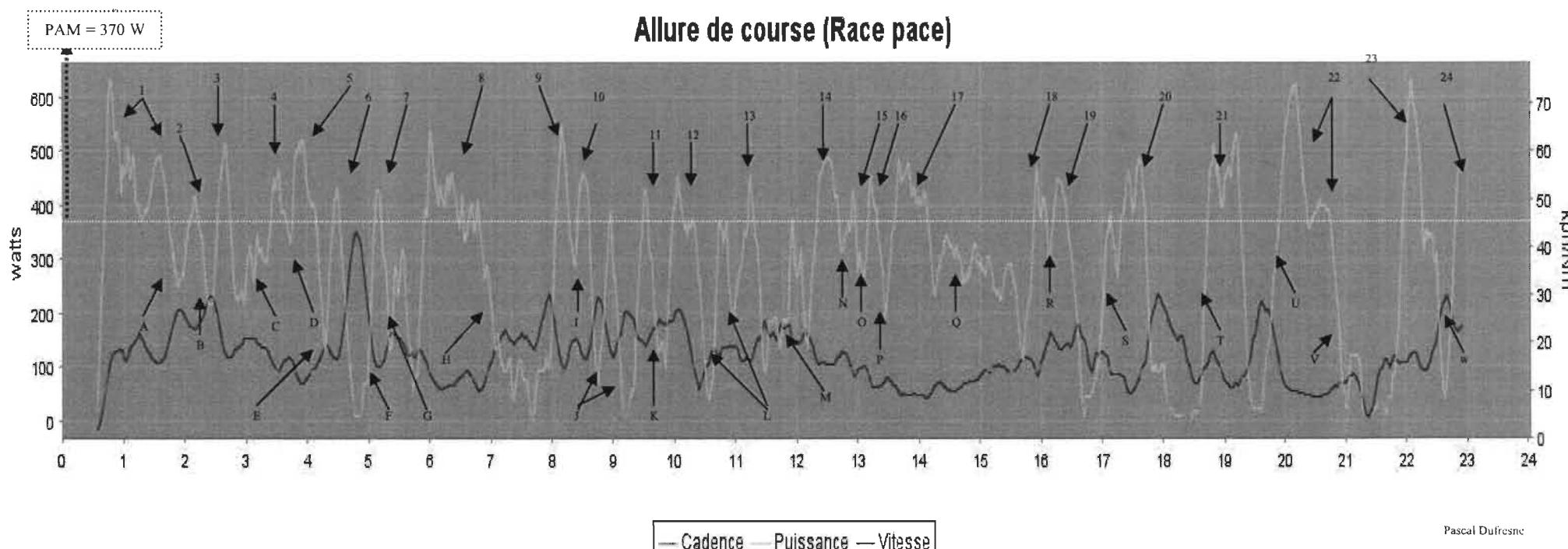
- Facteur de pourcentage : aucun

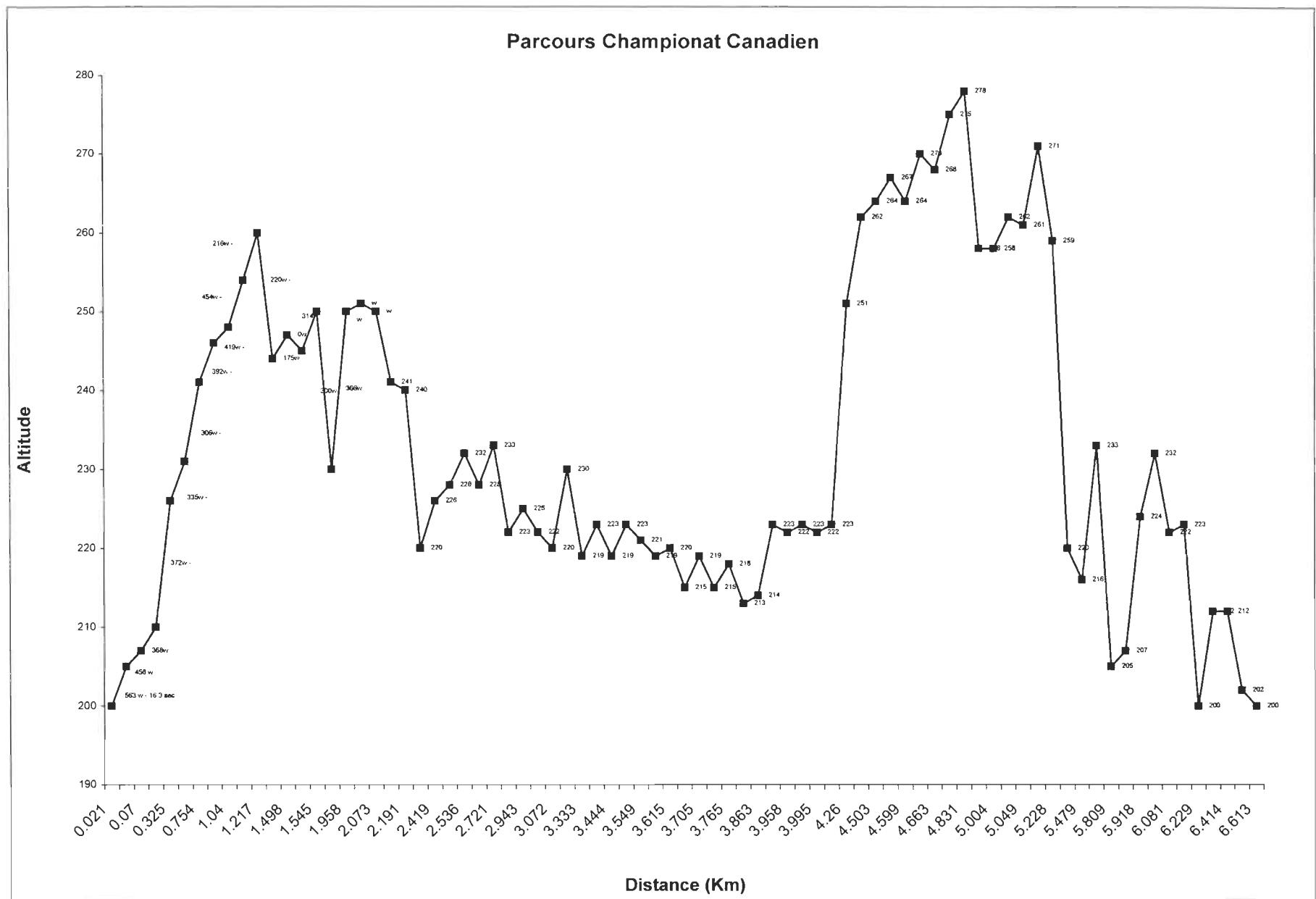
- % de la PAM lors de la réalisation du parcours : 75% (276 watts)

Chiffres : intensité au dessus de 100 % de la PAM, durée de l'effort et distance réalisée

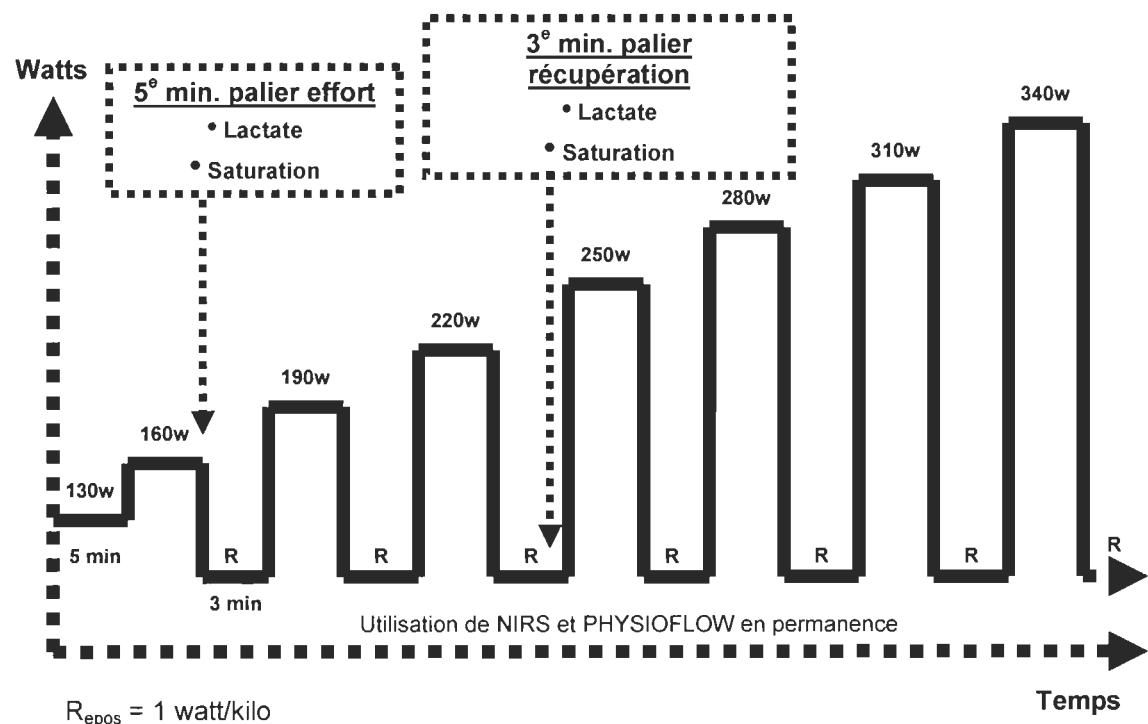
Lettres : intensité en dessous de 100 % de la PAM, durée de l'effort et distance réalisée

Périodes	Puissance moyenne (% PAM)	Durée/Distance	Périodes	Puissance moyenne	Durée/Distance
1 (:43 - 1 :43)	445 w (120 %)	60 sec / 310 m	13 (11 :13 à 11 :18)	412 w (111 %)	5 sec / 30 m
A (1 :45 - 2 :05)	328w (89 %)	20 sec / 140 m	M (11 :18 à 12 :18)	237 w (64 %)	60 sec / 350 m
2 (2 :06 - 2 :12)	378 w (102%)	6 sec / 40 m	14 (12 :19 à 12 :41)	405 w (109 %)	22 sec / 100 m
B (2 :14 - 2 :30)	332 w (90 %)	16 sec / 120 m	N (12 :42 - 12 :52)	340 w (92 %)	10 sec / 40m
3 (2 :31 - 2 :44)	368 w (100 %)	13 sec / 60 m	15 (12 :53 - 12 :58)	403 w (109 %)	5 sec / 20 m
C (2 :45 - 3 :24)	311w (84 %)	39 sec / 210 m	O (12 :59 - 13 :10)	298 w (81 %)	11 sec / 40 m
4 (3 :25 - 3 :39)	392 w (106 %)	14 sec / 60 m	16 (13 :11 - 13 :19)	415 w (112 %)	8 sec / 20 m
D (3 :40 - 3 :44)	343 w (93 %)	4 sec / 20 m	P (13 :20 - 13 :37)	289 w (78 %)	17 sec / 50m
5 (3 :46 - 4 :07)	428 w (116 %)	21 sec / 80 m	17 (13 :38 - 14 :10)	404 w (109 %)	32 sec / 80 m
E (4 :08 - 4 :25)	286 w (77 %)	16 sec / 80 m	Q (14 :11 - 15 :52)	284 w (77 %)	101 sec / 370 m
6 (4 :26 - 4 :31)	296 w (80 %)	5 sec / 30 m	18 (15 :53 - 16 :05)	396 w (107 %)	12 sec / 60 m
F (4 :32 - 5 :05)	176 w (48 %)	33 sec / 270 m	R (16 :06 - 16 :11)	326 w (88 %)	5 sec / 30 m
7 (5 :06 - 5 :11)	412 w (111 %)	5 sec / 30 m	19 (16 :12 - 16 :26)	391 w (106 %)	14 sec / 70 m
G (5 :12 - 5 :54)	248 w (67 %)	42 sec / 220 m	S (16 :27 - 17 :06)	175 w (47 %)	39 sec / 190 m
8 (5 :55 - 6 :48)	394 w (106 %)	53 sec / 170 m	20 (17 :07 - 17 :42)	370 (100 %)	35 sec / 140 m
H (6:4 9 - 8 :03)	149 w (40 %)	74 sec / 440 m	T (17 :43 - 18 :43)	119 w (32 %)	60 sec / 330 m
9 (8 :04 - 8 :15)	381 w (103 %)	11 sec / 60 m	21 (18 :44 - 19 :16)	430 w (116 %)	30 sec / 100 m
I (8 :16 - 8 :25)	326 w (88 %)	8 sec / 40 m	U (19 :17 - 19 :53)	169 w (45%)	36 sec / 220 m
10 (8 :26 à 8 :35)	430 w (116 %)	9 sec / 50 m	22 (19 :53 - 20 :44)	448 w (121%)	51 sec / 130 m
J (8 :36 - 9 :28)	199 w (54 %)	52 sec / 320 m	V (20 :45 - 21 :55)	107 w (29%)	70 sec / 230 m
11 (9 :29 - 9 :35)	403 w (109 %)	6 sec / 30 m	23 (21 :56 - 22 :16)	429 w (116%)	20 sec / 90 m
K (9 :36 - 9 :57)	278w (75 %)	11 sec / 150m	W (22 :17 - 22 :48)	284 w (77%)	31 sec / 220 m
12 (9 :58 - 10 :09)	409 w (111 %)	11 sec / 70 m	24 (22 :49 - 22 :57)	439 w (119%)	8 sec / 40 m
L (10 :09 à 11 :12)	273 w (74 % PAM)	63 sec / 290 m			

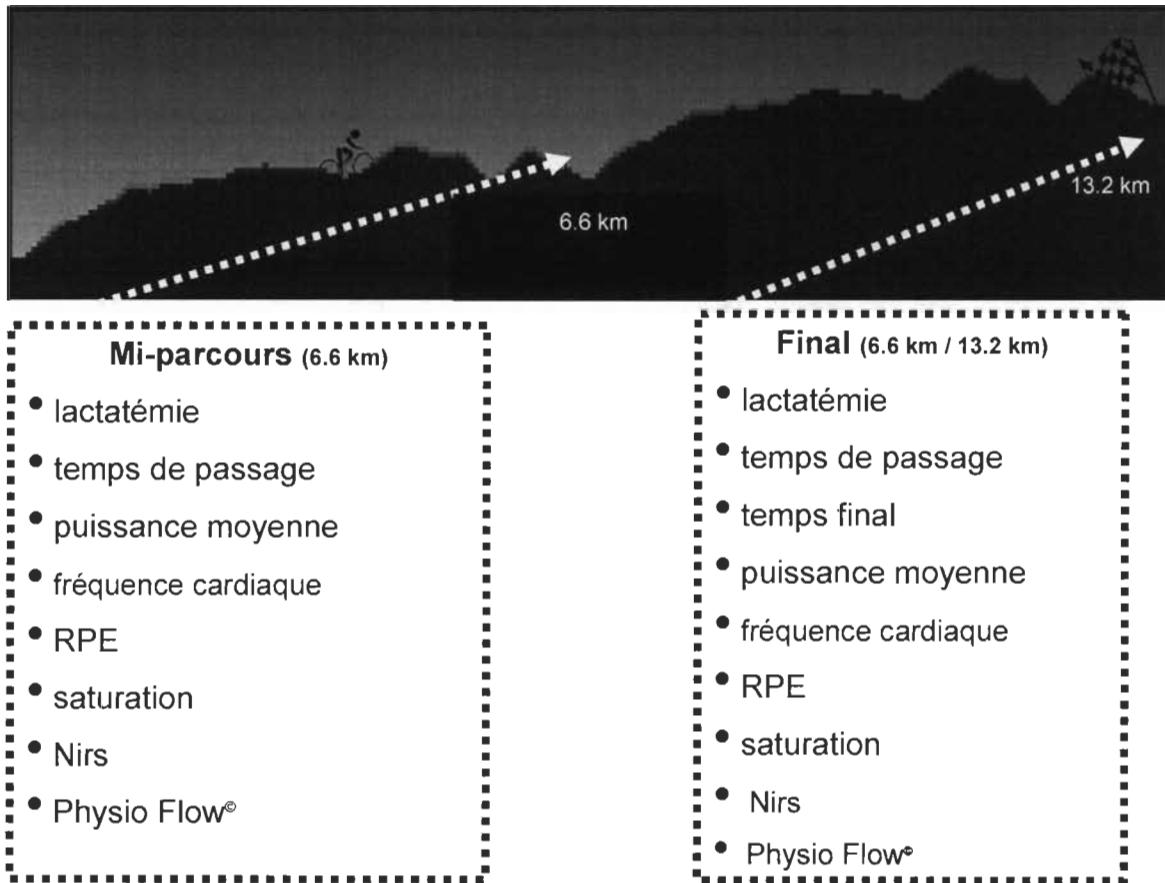




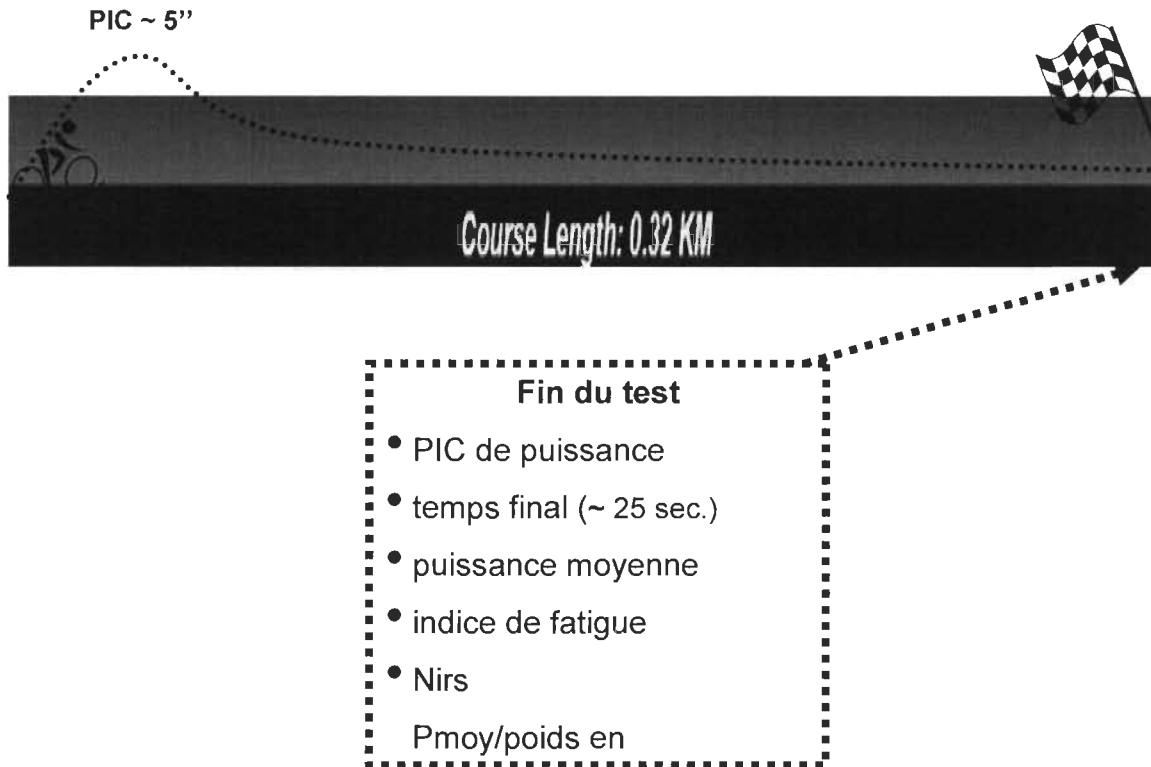
Test de puissance maximale aérobie (PAM et VO₂ max)



Test de performance de 13.2 kilomètres



Test de puissance 320 mètres



Huit séances d'entraînement 20-40

