



**VICTORIA UNIVERSITY**  
MELBOURNE AUSTRALIA

*Durée de la récupération et puissance maximale anaérobie au cours de la journée*

This is the Published version of the following publication

Falgairrette, Guy, Billaut, Francois and Ramdani, Sophiane (2003) Durée de la récupération et puissance maximale anaérobie au cours de la journée. Canadian Journal of Applied Physiology, 28 (2). pp. 213-224. ISSN 1715-5312

The publisher's official version can be found at

Note that access to this version may require subscription.

Downloaded from VU Research Repository <https://vuir.vu.edu.au/2426/>

# *Durée de la récupération et puissance maximale anaérobie au cours de la journée*

Guy Falgairette, François Billaut, et Sophiane Ramdani

---

## Catalogue Data

Falgairette, G.; Billaut, F.; et Ramdani, S. (2003). Durée de la récupération et puissance maximale anaérobie au cours de la journée. **Can. J. Appl. Physiol.** 28(2): 213-224. © 2003 Canadian Society for Exercise Physiology.

---

**Mots-clés:** performance, rythmes biologiques, fatigue, ergométrie, inertie

**Key words:** performance, diurnal variation, fatigue, ergometry, inertia

## Résumé/Abstract

*L'effet de la durée de la récupération (2–3 s, 15 s, 30 s, 1 mn, et 2 mn) et de la période de la journée (9h00, 14h00, et 18h00) sur la performance en sprint ont été étudiés chez 9 sujets sur ergocycle. La puissance pic ( $P_{pic}$ ) et la quantité de travail réalisée ( $W$ ) ont été déterminées à partir de l'évolution de la puissance calculée en prenant en compte l'inertie de la roue. Une diminution de  $P_{pic}$  et  $W$  est observée après 15 s et 2–3 s de récupération ( $p < 0.001$ ). Une relation logarithmique ( $y = 3.92 \ln x + 81.5$ ;  $r = 0.82$ ;  $n = 9$ ) relie  $P_{pic}$  (% $P_{pic}$  du premier sprint) et la durée de récupération ( $1/2$  vie = 14.3 s;  $SD = 7.6$ ). Aucun effet significatif de l'heure de la journée sur  $P_{pic}$  et  $W$  n'est observé, et cela quelle que soit la durée de récupération. Les processus de récupération suite à une épreuve de sprint sont rapides et apparaissent comme faiblement dépendants des rythmes biologiques.*

*Effects of recovery duration (2–3 s, 15 s, 30 s, 1 min, and 2 min) and time of day (9 a.m., 2 p.m., and 6 p.m.) on sprint performance were studied in 9 subjects using a cycle ergometer. The peak power ( $P_{peak}$ ) and the total work performed ( $W$ ) were determined from changes in instantaneous power, taking into account the inertia of the flywheel. A decrease in  $P_{peak}$  and  $W$  was observed after 15 s and 2–3 s recovery ( $p < 0.001$ ). A logarithmic relationship ( $y = 3.92 \ln x + 81.5$ ;  $r = 0.82$ ;  $n = 9$ ) was found between  $P_{peak}$  (% $P_{peak}$  of the first sprint) and the duration of the recovery (half-time = 14.3 s;  $SD = 7.6$ ). Data indicated that there was no*

---

Les auteurs sont membres du Laboratoire d'Ergonomie Sportive et Performance, Université de Toulon Var, BP 132 – 83 957 La Garde Cedex, France.

*significant effect of time of day on  $P_{peak}$  and  $W$ , regardless of the duration of recovery. The recovery processes occurred in a very short time and did not seem to be affected by biological rhythms.*

## Introduction

La rythmicité biologique est une propriété fondamentale des êtres vivants qui touche de nombreuses variables de la performance humaine, et il convient d'identifier les moments de la journée où les mécanismes physiologiques sont à leur apogée (Winget et al., 1992).

La majorité des études montre des variations journalières significatives des moments de force maximale isométrique (Atkinson et al., 1993; Coldwells et al., 1994; Gauthier et al., 1996; Martin et al., 1999) et isocinétique (Atkinson et al., 1995; Wyse et al., 1994). L'acrophase se situe en général en fin d'après-midi ou en début de soirée (17h00–20h00). Des constatations similaires ont été effectuées pour la puissance développée lors d'exercices de courte durée sur ergocycle comme l'épreuve de Wingate (Hill et Smith, 1991; Melhim, 1993; Reilly et Marshall, 1991), l'épreuve de force vitesse (Bernard et al., 1998) et lors d'épreuves de terrain (Javierre et al., 1996; Reilly et Down, 1992). Aucune donnée n'est cependant disponible pour des exercices de haute intensité entrecoupés de périodes de récupération incomplète. Un grand nombre d'activités physiques est caractérisé par de telles situations dont le bilan énergétique est complexe (football, handball, hockey, patinage artistique, gymnastique, sports de combat, tennis, canoë-kayak de slalom, escrime, etc.).

L'objet de ce travail est donc d'analyser l'effet de la durée de la récupération sur la performance au cours de sprints de courte durée, et de déceler et quantifier les éventuelles variations journalières des performances.

## Méthode

L'étude a été réalisée par 9 sujets masculins, étudiants en Sciences du Sport et pratiquant  $11.8 \pm 6.5$  heures d'activité physique par semaine. Les activités sportives (rugby,  $n = 3$ ; cyclisme,  $n = 2$ ; athlétisme,  $n = 2$ ; ski,  $n = 1$ ; voile,  $n = 1$ ) sont pratiquées à raison de  $8.8 \pm 6.5$  heures par semaine en club (entraînement et compétition) et de 3 heures dans le cadre de leurs études à l'université. Tous les sujets ont été informés de la nature et du déroulement du protocole expérimental avant de donner leur consentement éclairé. Les caractéristiques des sujets sont les suivantes:  $23 \pm 2$  ans,  $180 \pm 4$  cm,  $74.8 \pm 7.8$  kg, et  $13 \pm 4.6\%$  de masse grasse (méthode des quatre plis cutanés de Durnin et Rahaman, 1967). Le chronotype des sujets a été réalisé à partir du questionnaire de Smith et al. (1989), qui permet de distinguer les sujets "du matin," "intermédiaires," et "du soir." Tous les sujets de cette étude étaient du type intermédiaire.

Les épreuves ont été réalisées sur une bicyclette ergométrique dotée d'un frein à friction (Monark 824 E, Stockholm, Suède). La vitesse angulaire du pédalier a été mesurée en continu au moyen d'une fourche optique (OPB 815W, Optek Technology, Carrollton, TX, USA) placée sur le pédalier, d'un boîtier d'alimentation, d'une carte d'acquisition (DAS-1801 ST, Keithley Instruments, Cleveland, OH,

USA) et d'un micro-ordinateur. La bicyclette est équipée de pédales automatiques évitant aux pieds des sujets de glisser et permettant un pédalage plus efficace (Arsac et al., 1996).

Les sujets ont réalisé au préalable une épreuve de force-vitesse afin de déterminer la force optimale (Vandewalle et al., 1985). Le protocole d'exercices répétés à temps de récupération variable a été réalisé les 3 jours suivants à 9h00, 14h00, et 18h00. Une période de 2 hr séparait l'heure du lever du premier sprint. Toutes les épreuves se sont déroulées en ambiance climatisée à une température de  $19.6 \pm 1.4$  °C et à un taux d'hygrométrie de  $56 \pm 3\%$ . Il a été demandé aux sujets de ne pas pratiquer d'activité physique pendant la période expérimentale ni d'absorber solide et boissons excitantes (café, thé, cola) dans l'heure qui précède les épreuves.

#### EPREUVE DE FORCE-VITESSE (F-V)

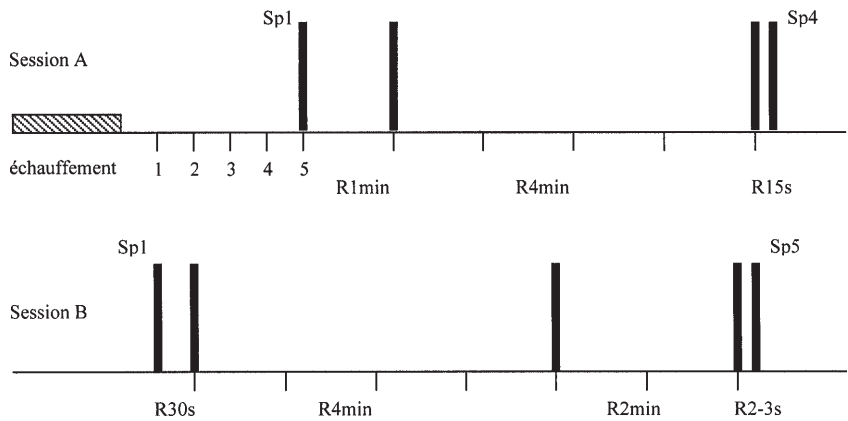
Après un échauffement standardisé (3 mn de pédalage à 70 rotations par minute) contre une résistance de 1 kg avec un sprint de 8 s toutes les minutes) et une période de récupération passive de 5 mn, l'épreuve de  $F-v$  a débuté et a consisté en une série de sprints maximaux de pédalage contre des forces de friction ( $F_{fric}$ ) progressivement croissantes: 3, 5, 7, et 9 kg, et pour les sujets les plus puissants 10 voire 11 kg. Les sprints ont été entrecoupés d'une période de récupération passive de 5 mn assis sur la bicyclette. Au signal le sujet devait pédaler le plus rapidement possible pendant 7 s sans être autorisé à se lever de la selle. Les sujets ont été fortement encouragés par l'entourage pendant chaque sprint afin d'atteindre le plus rapidement possible la vitesse maximale de pédalage. La vitesse pic atteinte au cours de chaque sprint a été relevée ( $v_{pic}$ ). La relation  $F_{fric}-v_{pic}$  étant linéaire ( $r > 0.98$ ), la relation puissance force est de type parabolique. La force pour laquelle la puissance maximale est obtenue ( $F_{opt}$ ) a été déterminée à partir de ces relations.

#### PROTOCOLE D'EXERCICES RÉPÉTÉS À TEMPS DE RÉCUPÉRATION VARIABLE

Le protocole d'exercices répétés a été organisé en deux sessions (A et B) séparées par 30 minutes de repos (Figure 1). Avant chaque session un échauffement standardisé identique au précédent a été réalisé, suivi d'une récupération passive de 5 mn. La Session A comprend 2 séries de 2 sprints et la Session B comprend 1 série de 2 sprints et 1 série de 3 sprints. Chaque sprint, d'une durée de 7 s, a été réalisé sur ergocycle contre la charge optimale préalablement définie. Selon les séries, les sprints ont été entrecoupés par des périodes de récupération de 2–3 s ( $Rec_{2-3s}$ ), 15 s ( $Rec_{15s}$ ), 30 s ( $Rec_{30s}$ ), 1 mn ( $Rec_{1mn}$ ), et 2 mn ( $Rec_{2mn}$ ). Les deux séries de chaque session sont séparées par 4 mn de récupération.

Le sujet a démarré l'épreuve au signal de l'opérateur. Le pied de la jambe d'appel devait être en position haute ( $45^\circ$  par rapport à l'horizontale) de façon à obtenir une poussée maximale dès le départ. L'entourage a encouragé fortement le sujet pendant l'exercice.

L'ordre de passage des séries et celui des épreuves aux différentes heures de la journée ont été randomisés afin de compenser les effets d'ordre. Un questionnaire a permis de contrôler que les sujets ont respecté les consignes (pas d'activité physiques, pas d'absorption solide, et pas de boisson stimulante dans l'heure



**Figure 1.** Protocole de sprints (Sp) répétés à temps de récupération (R) variable réalisé à 9h00, 14h00, et 18h00; 30 minutes de repos séparent les deux sessions.

précédant les tests) et que la durée de sommeil précédant les épreuves était égale ou supérieure à 7 heures.

#### PARAMETRES ÉTUDIÉS

Pour chaque sprint réalisé, la puissance pic ( $P_{pic}$ ), la puissance obtenue à la fin de l'exercice ( $P_{7s}$ ), et le temps nécessaire pour atteindre  $P_{pic}$  ( $tP_{pic}$ ) ont été déterminés à partir de l'évolution de la puissance instantanée ( $P_i$ ) développée par le sujet. La quantité totale de travail mécanique externe ( $W$ ) réalisée au cours du sprint a été calculée à partir de l'intégration de la courbe de  $P_i$  sur une période de 6 s.

#### DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE INSTANTANÉE ( $P_i$ )

$P_i$  a été déterminée en prenant en compte l'inertie de la roue. Les forces de frottements résiduelles dues à la rotation du pédalier, à la chaîne, aux roulements à bille et au mécanisme d'engrenage du système ont été considérées comme négligeables. Une analyse mécanique basée sur la loi d'Euler permet d'évaluer  $P_i$  en considérant la chaîne comme non élastique (transmission supposée parfaite) et sa masse comme négligeable.

$$P_i = M_s \cdot \omega_c = \left( \frac{1}{8} R F_{fric} + \frac{1}{8^2} I_f \alpha_c + I_c \alpha_c \right) \cdot \omega_c$$

où  $M_s$  est le moment développé par le sujet,  $\omega_c$  la vitesse angulaire du pédalier,  $\delta$  correspond au ratio entre le pignon de la roue et le pédalier (14/52),  $R$  le rayon de la roue,  $F_{fric}$  la force de friction,  $I_f$  le moment d'inertie de la roue,  $\alpha_c$  l'accélération angulaire du pédalier, et  $I_c$  le moment d'inertie du pédalier.

La modélisation de la vitesse par une régression polynomiale du 4<sup>ème</sup> degré a permis de calculer mathématiquement  $\alpha_c$ ;  $I_f$  a été déterminé de façon expérimentale

par la mesure de la décélération libre de la roue, le pédalier étant bloqué ( $I_f = 0.99 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ).  $I_f$  a également été déterminé mathématiquement en évaluant la géométrie de la roue et en calculant sa densité grâce à sa masse et son volume. La valeur obtenue étant très proche de la précédente ( $\Delta \approx 1\%$ ), nous avons conservé la valeur de  $0.99 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  dans les calculs.

Une procédure analogue a été mise en oeuvre afin d'estimer le moment d'inertie du pédalier ( $I_c$ ). La valeur obtenue étant très faible ( $I_c = 0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ), le terme d'inertie du pédalier a été négligé. L'expression finale de la puissance du sujet est donc:

$$P_i = \left( \frac{1}{8} R F_{\text{fric}} + \frac{1}{8} I_f \alpha_c \right) \cdot \omega_c$$

### Analyse et traitement statistique

La reproductibilité des performances ( $P_{\text{pic}}$ ,  $W$ ) obtenues au cours des premiers sprints des différentes séries a été testée au moyen de régressions linéaires pour chaque période de la journée. L'analyse des données a été complétée par une ANOVA à un facteur avec mesures répétées. Une relation logarithmique a été utilisée pour caractériser l'évolution de  $P_{\text{pic}}$  avec la durée de récupération. L'influence de la durée de la récupération et l'influence de la période de la journée sur les performances en sprint ( $P_{\text{pic}}$ ,  $tP_{\text{pic}}$ ,  $W$ ) ont été analysées au moyen d'une ANOVA à un facteur avec mesures répétées. Les ANOVA ont été complétées par l'analyse a posteriori du test PLSD de Fisher. Le seuil de signification est fixé à  $p < 0.05$ .

### Résultats

Les performances ( $P_{\text{pic}}$ ,  $W$ ) au cours des premiers sprints de chaque série ne diffèrent pas de façon significative. Pour chaque période de la journée, des relations étroites ont été obtenues entre les valeurs de  $P_{\text{pic}}$  des premiers sprints, Série 1 versus Série 2 et Session 1 versus Session 2 ( $r = 0.93 \pm 0.04$ ;  $p < 0.001$ ). Les mêmes constats ont été effectués pour  $W$  ( $r = 0.94 \pm 0.03$ ;  $p < 0.001$ ).

#### EFFETS DE LA DURÉE DE LA RÉCUPÉRATION SUR LA PERFORMANCE

Une diminution systématique ( $p < 0.001$ ) de  $P_{\text{pic}}$  est observée après 15 s et 2–3 s de récupération, et des différences significatives ( $p < 0.001$ ) existent lorsque  $P_{\text{picRec2-3s}}$  et  $P_{\text{picRec15s}}$  sont comparés aux valeurs obtenues suite à 2 mn, 1 mn, et 30 s de récupération (Tableau 1 et Figure 2). Par ailleurs,  $P_{\text{picRec2-3s}}$  est significativement plus faible que  $P_{\text{picRec15s}}$  ( $963.5 \pm 111.5 \text{ vs } 1102.2 \pm 192.6 \text{ W}$ ,  $p < 0.001$ ). Une relation logarithmique est observée chez tous les sujets entre la durée de récupération et  $P_{\text{pic}}$  (relation moyenne:  $y = 3.92 \ln x + 81.5$ ;  $r = 0.82$ ;  $n = 9$ ), et la 1/2 vie de restauration de  $P_{\text{pic}}$  se situe à  $14.3 \pm 7.6$  (Figure 3).

Au cours de chaque sprint,  $P_i$  augmente pour atteindre un pic en 3 à 4 s et diminue ensuite jusqu'à 56–71% de  $P_{\text{pic}}$  à la fin du sprint ( $p < 0.001$ ). Le temps nécessaire pour atteindre  $P_{\text{pic}}$  ne varie pas avec la durée de la récupération, excepté suite à 2–3 s d'interruption entre deux sprints;  $tP_{\text{pic}}$  est alors significativement plus court ( $p < 0.01$ ) que dans les autres conditions.

**Tableau 1** Influence de l’heure de la journée\* sur les performances lors du 2nd sprint

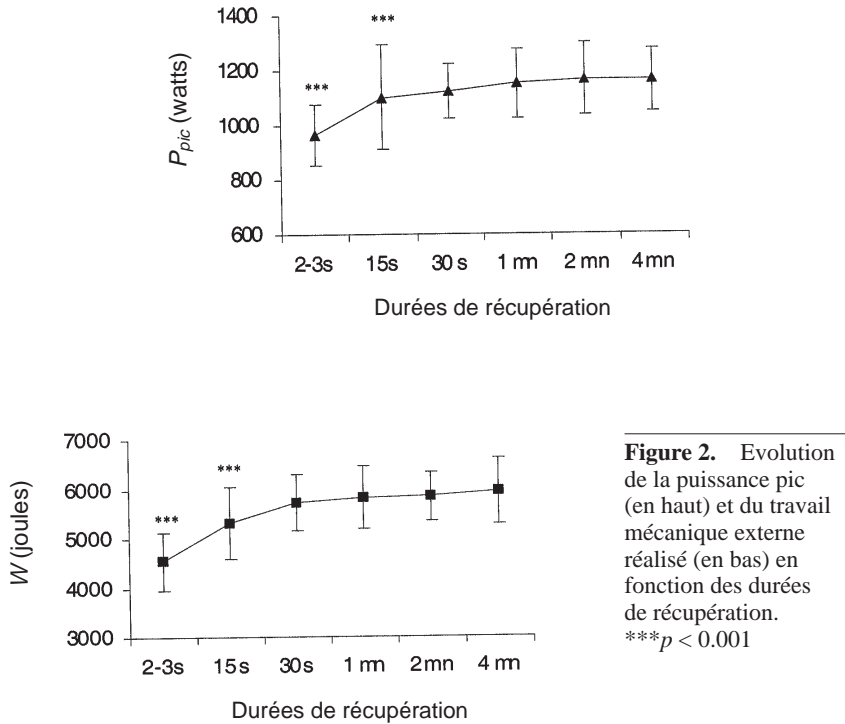
Variables	Périodes de la journée					
	9h00		14h00		18h00	
	moy	± DS	moy	± DS	moy	± DS
<i>P<sub>pic</sub></i> (w)						
4 min	1146.7	142.7	1165.4	136.8	1145.6	116.7
2 min	1150.1	140.6	1135.3	156.6	1148.2	135.3
1 min	1128.7	150.2	1140.5	125.4	1140.5	130.3
30 s	1113.8	156.6	1130.4	125.8	1109.8	99.4
15 s	1039.8	153.0	1045.0	129.0	1085.0	196.4
2–3 s	960.1	170.4	965.4	166.4	949.7	124.2
	<b>1089.9</b>	<b>152.3</b>	<b>1097.0</b>	<b>140.0</b>	<b>1096.5</b>	<b>133.7</b>
<i>W</i> (J)						
4 min	5878.6	788.0	5937.8	747.7	5955.7	668.4
2 min	5926.1	865.0	5835.0	830.6	5841.5	477.1
1 min	5843.9	760.3	5825.3	723.7	5826.5	638.6
30 s	5741.2	817.8	5845.2	715.7	5736.3	564.0
15 s	5290.5	769.7	5378.4	601.1	5305.1	727.9
2–3 s	4716.1	668.2	4938.1	780.3	4540.2	579.6
	<b>5566.1</b>	<b>778.2</b>	<b>5626.6</b>	<b>733.2</b>	<b>5534.2</b>	<b>609.3</b>
<i>tP<sub>pic</sub></i> (s)						
4 min	3.94	1.45	3.85	1.38	3.37	1.21
2 min	3.96	1.32	3.64	1.48	3.26	1.60
1 min	4.30	1.43	3.76	1.59	4.04	1.56
30 s	3.69	1.94	3.54	1.47	3.58	1.46
15 s	3.89	1.42	3.81	1.51	3.45	1.58
2–3 s	2.50	1.39	2.81	1.61	2.87	1.18
	<b>3.71</b>	<b>1.50</b>	<b>3.57</b>	<b>1.51</b>	<b>3.43</b>	<b>1.43</b>

\* Résultats ANOVA: Effet de l’heure de la journée = non significatif.

Le travail total réalisé sur les 6 premières secondes du sprint n’est pas modifié de façon significative suite à des récupérations de 2 mn, 1 mn, et 30 s (Figure 2). Cependant, *W* est systématiquement diminué après 15 s et 2–3 s de récupération, et *W*Rec<sub>15s</sub> est plus élevé que *W*Rec<sub>2–3s</sub> (*p* < 0.001).

EFFET DE L’HEURE DE LA JOURNÉE SUR LA PERFORMANCE

Les résultats obtenus dans cette étude ne montrent aucun effet significatif de l’heure de la journée sur la puissance pic au cours des différents sprints et cela quelle que



**Figure 2.** Evolution de la puissance pic (en haut) et du travail mécanique externe réalisé (en bas) en fonction des durées de récupération. \*\*\* $p < 0.001$

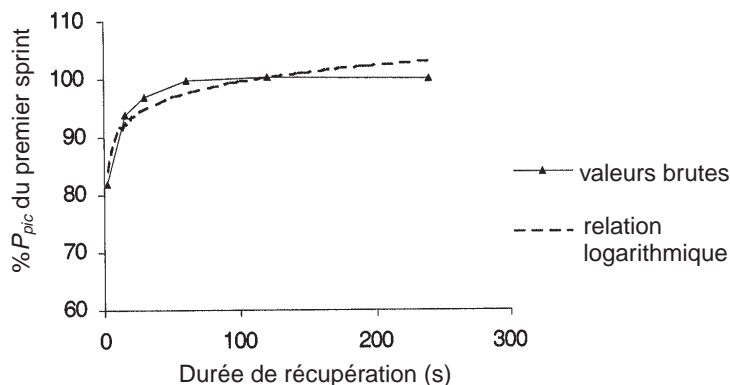
soit la durée de récupération. Les mêmes observations sont réalisées pour le temps nécessaire pour atteindre  $P_{pic}$  et pour la quantité de travail mécanique externe réalisé en 6 s (Tableau 1). De même, l'inflexion de la puissance instantanée au cours de la seconde moitié du premier sprint est similaire à 9h00, 14h00, et 18h00. Cela est également le cas quelle que soit la durée de la période de récupération précédant le second sprint.

## Discussion

Le protocole mis en place dans cette étude n'ayant pas, à notre connaissance, été utilisé précédemment, il convient de vérifier que les périodes de récupération entre les séries et les sessions ont été de durée suffisante pour reproduire la performance initiale. Aucune différence significative de  $P_{pic}$  et  $W$  n'est observée entre les premiers sprints de chaque série, Sessions A et B confondues, et cela aux trois périodes de la journée prises en compte. Par ailleurs les performances au cours des premiers sprints sont reproductibles d'une série à l'autre et d'une session à l'autre ( $0.85 < r < 0.99$ ;  $p < 0.001$ ).

Deux observations principales émergent de ce travail. La première est que les sujets ont été capables de reproduire  $P_{pic}$  et  $W$  avec une durée de récupération de 30 s et donc que les processus de récupération sont rapides. En effet  $P_{pic}$  et  $W$  au





**Figure 3.** Relation logarithmique moyenne entre la puissance pic (exprimée en  $\%P_{pic}$  du premier sprint) et la durée de récupération ( $y = 3.92 \ln x + 81.5$ ;  $r = 0.82$ ;  $n = 9$ ;  $1/2 \text{ vie} = 14.3 \pm 7.6 \text{ s}$ ).

cours du second sprint ne sont affectés qu'après des périodes de récupération de 15 et 2–3 s. La réduction de  $P_{pic}$  après 15 s de récupération est de faible ampleur,  $5.2 \pm 3.1\%$  en moyenne; la différence atteint  $17.2 \pm 6.3\%$  lorsque les deux sprints sont séparés de 2–3 s. Les puissances développées par les sujets étant alors plus faibles, le temps mis pour atteindre le pic de puissance et le travail mécanique réalisé sont réduits.

La majorité des études conduites sur l'exercice intermittent de courte durée (3–6 s) a analysé l'évolution de la performance au fur et à mesure des répétitions de sprints entrecoupés de récupération de durée fixe (Balsom et al., 1992; Gaitanos et al., 1993; Hamilton et al., 1991; Lakomy et al., 1994). Il ressort de ces différents travaux qu'une période de récupération de 30 s est suffisante pour reproduire au moins deux fois la même performance. L'originalité des résultats présentés ici est de caractériser par un modèle logarithmique l'évolution des performances avec le temps de récupération ( $r = 0.82$ ;  $n = 9$ ). La  $1/2$  vie de cette évolution est de 14 s ce qui témoigne de la rapidité des processus de restauration (Figure 3).

En sprint l'hydrolyse de l'adénosine triphosphate (ATP) atteint des vitesses très élevées et une resynthèse quasi instantanée est nécessaire compte tenu des concentrations en ATP du muscle squelettique. L'énergie nécessaire à cette resynthèse est principalement fournie, lors d'un sprint, par la dégradation de la phosphocréatine (PCr), par la glycolyse anaérobie, et dans de faibles proportions par les oxydations (Bogdanis et al., 1995; Jacobs et al., 1983). La participation de PCr dans le bilan énergétique d'un seul sprint de 6 s sur ergocycle a été estimée à 50% (Gaitanos et al., 1993). La resynthèse des réserves en PCr du muscle est un facteur prépondérant dans la résistance à la fatigue lors d'exercices explosifs répétés et les facteurs limitant cette réplétion sont la disponibilité en oxygène (Harris et al., 1976; Sahlin et al., 1979) et le pH (Fitts, 1994). Nos résultats font apparaître qu'une récupération de 30 s permet de reproduire la même performance témoignant d'une réplétion de PCr suffisante dans ces conditions. Ce n'est semble-t-il pas le cas suite à des récupérations de durée plus courte, 15 s et 2–3 s.

Au cours d'un seul sprint maximal de 6 s sur cyclo-ergomètre, la glycolyse anaérobie fournit une part non négligeable d'énergie. Cette participation a été évaluée à 44–50% de la resynthèse de l'ATP (Boobis et al., 1982; Gaitanos et al., 1993) et apparaît concomitante à la dégradation de PCr (Hargreaves et al., 1998). Au cours de sprints intermittents, l'acidose métabolique d'origine musculaire générée par l'accumulation d'ions hydrogène affecte l'activité de la glycolyse et de la glycogénolyse (Ainsworth et al., 1993; Bogdanis et al., 1996; Hultman et Sjöholm, 1983) et altère le couplage excitation/contraction (Hargreaves et al., 1998). Il en résulte une baisse de la force produite au niveau des ponts d'union actine-myosine. Si ces mécanismes sont impliqués de façon importante lors d'un grand nombre de répétitions de sprints, ils ne semblent pas jouer un rôle majeur lors de la succession de deux sprints. En effet, 30 s de récupération sont suffisantes pour reproduire la même puissance alors que ce délai est beaucoup trop court pour modifier l'équilibre acido-basique (Bogdanis et al., 1998).

En sprint, le bilan énergétique fait intervenir le métabolisme aérobie, mais pour une faible part au regard des réserves intracellulaires et sanguines en oxygène, de la cinétique des adaptations cardio-respiratoires, de la durée de l'épreuve et de la demande énergétique. Au cours d'un sprint de 20 s sur cyclo-ergomètre, l'énergie issue de la filière aérobie a été estimée à 13% dans les 10 premières secondes et à près du double dans la seconde moitié de la course (Bogdanis et al., 1998). Lors de sprints intermittents, les processus oxydatifs interviennent d'autant plus que le nombre de répétitions augmente (Gaitanos et al., 1993). La réduction de l'énergie disponible liée à la réplétion insuffisante de PCr après  $R_{15s}$  et  $R_{2-3s}$  pourrait donc être, en partie, contrebalancée par une participation aérobie accrue.

Deux informations laissent à penser que l'origine de la fatigue musculaire ne se situe pas uniquement à un niveau énergétique. Au cours d'un sprint de 7 s,  $P_{pic}$  est atteint en 3 à 4 s puis la puissance instantanée diminue progressivement pour atteindre, à la fin de l'exercice 55–71% de la valeur pic. Cela témoigne de processus de fatigue qui s'installent rapidement. Au regard des données de la littérature, cette inflexion de  $P_{pic}$  ne devrait pas être liée à un épuisement des réserves en PCr (Bogdanis et al., 1995).

Selon Cherry et al. (1998) les élévations intracellulaire de  $[Na^+]$  et extracellulaire de  $[K^+]$  sont en relation directe avec la phase initiale de la récupération. Ces modifications ioniques déterminent une diminution de la conduction membranaire des potentiels d'action dans les tubules transverses, une réduction de la libération de  $Ca^{2+}$  par le réticulum sarcoplasmique et une diminution de la production de force (MacIntosh et Allen, 2000). Par ailleurs, suite à 2–3 s de récupération le sujet est à même de produire une puissance ( $P_{pic}$ ) supérieure à celle obtenue à la fin de l'épreuve précédente ( $P_{7s}$ ). Cela témoigne de processus de fatigue qui se dissipent rapidement au regard des performances obtenues.

La seconde observation majeure est que la puissance maximale anaérobie et les processus de récupération de la puissance maximale anaérobie sont faiblement dépendants des rythmes biologiques. En effet les performances en sprint ne varient pas au cours de la journée, et l'inflexion observée suite à de courtes périodes de récupération est identique à 9h00, 14h00, et 18h00.

Il existe des divergences de point de vue dans la littérature concernant la variation circadienne de la performance à l'exercice explosif. D'après Melhim (1993), Hill et Smith (1991), et Reilly et Marshall (1991), les performances à

l'épreuve de Wingate (pic de performance et puissance moyenne) varient de façon significative au cours de la journée. Par contre Reilly et Down (1992) et Down et al. (1985), n'ont pas fait état de variations qui soient significatives. Bernard et al. (1998) ont observé une variation journalière de la puissance maximale anaérobie évaluée au cours d'une épreuve de force vitesse et de la détente verticale, mais aucune variation circadienne significative n'a été mise en évidence lors de sprints sur piste (50 m). Javierre et al. (1996) font état par contre de modifications de la performance lors de sprints de 80 m avec un pic à 19h00. De même, Reilly et Down (1986, 1992) et Atkinson et al. (1993) ont observé un rythme significatif des performances à l'exercice explosif (sauts en longueur, test de Margaria, détente verticale) avec une amplitude de 2 à 3% de la valeur moyenne.

L'absence de variation journalière des performances dans cette étude est peut-être liée au chronotype des sujets, tous de type intermédiaire. Cependant, l'influence du chronotype sur les variations intra-journalières des performances à l'exercice explosif ne semble pas déterminante (Bernard et al., 1998; Reilly et Marshall, 1991). Dans la présente étude il n'apparaît pas de relation significative entre le score au questionnaire de Smith et al. (1989) (valeurs extrêmes 23 et 43) et l'amplitude des variations journalières des performances. Des observations similaires ont été rapportées par Bernard (1997). On ne peut écarter l'existence d'effets de masque qui restent cependant à identifier. En effet, la durée de sommeil, la prise alimentaire avant les épreuves, et l'activité physique des sujets ont été contrôlées et la climatisation du laboratoire a permis de maintenir les conditions ambiantes de température et d'humidité à des valeurs très voisines.

A notre connaissance, aucune étude n'a analysé les variations circadiennes des performances au cours d'exercices intermittents de courte durée. Les résultats obtenus ici laissent penser que les processus de fatigue et de récupération qui se mettent en place lors de ce type d'exercice ne sont pas modifiés au cours de la journée. En effet, le patron de fatigue est exactement le même de 9h00 à 18h00. Un constat identique peut-être formulé concernant la décroissance de la puissance instantanée au cours de la deuxième partie de chaque sprint.

En conclusion, les processus de récupération suite à une épreuve de sprint de courte durée sont rapides. En effet les sujets sont capables de reproduire  $P_{pic}$  et  $W$  suite à 30 s de récupération, et la 1/2 vie de la restauration de  $P_{pic}$  et  $W$  se situe autour de 14 s. Par ailleurs, la puissance maximale anaérobie et les processus de fatigue et de récupération de la puissance maximale anaérobie apparaissent comme faiblement dépendants des rythmes biologiques. En effet, les performances en sprint ne varient pas au cours de la journée, et l'inflexion observée suite à de courtes périodes de récupération est identique à 9h00, 14h00, et 18h00.

## Références

- Ainsworth, B.E., Serfass, R.C., and Leon, A.S. (1993). Effects of recovery duration and blood lactate level on power output during cycling. **Can. J. Appl. Physiol.** 18: 19-30.
- Arsac, L.M., Belli, A., and Lacour, J.R. (1996). Muscle function during brief maximal exercise: Accurate measurements on a friction-load cycle ergometer. **Eur. J. Appl. Physiol.** 74: 100-106.

- Atkinson, G., Coldwells, A., and Reilly, T. (1993). A comparison of circadian rhythms in work performance between physically active and inactive subjects. **Ergonomics** 36: 273-281.
- Atkinson, G., Greeves, J., Reilly, T., and Cable, N.T. (1995). Day-to-day and circadian variability of leg strength measured with the Lido isokinetic dynamometer. **J. Sports Sci.** 13: 18-19.
- Balsom, P.D., Seger, J.Y., Sjödin, B., and Ekblom, B. (1992). Physiological responses to maximal intensity intermittent exercise. **Eur. J. Appl. Physiol.** 65: 144-149.
- Bernard, T. (1997). Incidence du facteur temps sur l'évaluation du métabolisme aérobie et anaérobie: Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille. (204 p)
- Bernard, T., Giacomoni, M., Gavarry, O., Seymat, M., and Falgairette, G. (1998). Time-of-day effects in maximal anaerobic leg exercise. **Eur. J. Appl. Physiol.** 77: 133-138.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H., and Lakomy, H.K.A. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **J. Appl. Physiol.** 80: 876-884.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H., Lakomy, H.K.A., and Nevill, A.M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. **J. Physiol.** 482: 467-480.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Lakomy, H.K.A., and Boobis, L.H. (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20s of maximal sprint exercise in humans. **Acta Physiol. Scand.** 163: 261-272.
- Boobis, L.H., Williams, C., and Wooton, S.A. (1982). Human muscle metabolism during brief maximal exercise. **J. Physiol. (Lond.)** 338: 21P-22P.
- Cherry, P.W., Lakomy, H.K.A., Boobis, L.H., and Nevill, M.E. (1998). Rapid recovery of power output in females. **Acta Physiol. Scand.** 164: 79-87.
- Coldwells, A., Atkinson, G., and Reilly, T. (1994). Sources of variation in back and leg dynamometry. **Ergonomics** 37: 79-86.
- Down, A., Reilly, T., and Parry-Billings, M. (1985). Time of day and performance of the Wingate anaerobic test. **J. Sports Sci.** 3: 214.
- Durnin, J.V.G.A., and Rahaman, M.M. (1967). The assessment of the amount of fat in the human body from the measurements of skin fold thickness. **Br. J. Nutr.** 21: 681-689.
- Fitts, R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiol. Rev.** 74: 49-94.
- Gaitanos, G.C., Williams, C., Boobis, L.H., and Brooks, S. (1993.) Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **J. Appl. Physiol.** 75: 712-719.
- Gauthier, A., Davenne, D., Martin, A., Cometti, G., and Van Hoecke, J. (1996). Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions. **Chronobiol. Int.** 13: 135-146.
- Hamilton, A.L., Nevill, M.E., Brooks, S., and Williams, C. (1991). Physiological responses to maximal intermittent exercise: Differences between endurance-trained runners and games players. **J. Sports Sci.** 9: 371-382.
- Hargreaves, M., McKenna, M.J., Jenkins, D.G., Warmington, S.A., Li, J.L., Snow, R.J., and Febbraio, M.A. (1998). Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. **J. Appl. Physiol.** 84: 1687-1691.
- Harris, R.C., Edwards, R.H.T., Hultman, E., Nordesjö, L.O., Ny Lind, B., and Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. **Pflügers Arch.** 367: 137-142.

- Hill, D.W., and Smith, J.C. (1991). Circadian rhythm in anaerobic power and capacity. **Can. J. Sport Sci.** 16: 30-32.
- Hultman, E., and Sjöholm, H. (1983). Substrate availability. In: H.G. Knuttgen, J.A. Vogel, and J. Poortmans (Eds.), **Biochemistry of Exercise**. Int. Series on Sports Sciences (Vol. 13), pp. 63-75. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Jacobs, I., Tesch, P.A., Bar-Or, O., Karlsson, J., and Dotan, R. (1983). Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise. **J. Appl. Physiol.** 55: 365-367.
- Javierre, C., Calvo, M., Diez, A., Garrido, E., Segura, R., and Ventura, J.L. (1996). Influence of sleep and meal schedules on performance peaks in competitive sprinters. **Int. J. Sports Med.** 17: 404-408.
- Lakomy, H.K.A., Lakomy, J., Martin, D., and Nevill, M.E. (1994). Fatigue and power-velocity relationship of muscle measured during cycling. **J. Sports Sci.** 12: 142.
- MacIntosh, B.R., and Allen, D.G. (2000). Contractile changes and mechanisms of muscle fatigue. In: B.M. Nigg, B.R. MacIntosh, and J. Mester (Eds.), **Biomechanics and Biology of Movement**, pp. 365-383. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Martin, A., Carpentier, A., Guissard, N., Van Hoecke, J., and Duchateau, J. (1999). Effect of time of day on force variation in a human muscle. **Muscle Nerve** 22: 1380-1387.
- Melhim, A.F. (1993). Investigation of circadian rhythms in peak power and mean power of female physical education students. **Int. J. Sports Med.** 14: 303-306.
- Reilly, T., and Down, A. (1986). Circadian variation in the standing broad jump. **Percept. Mot. Skills** 62: 830. [abstract]
- Reilly, T., and Down, A. (1992). Investigation of circadian rhythms in anaerobic power and capacity of the legs. **J. Sports Med. Phys. Fitness** 32: 343-347.
- Reilly, T., and Marshall, S. (1991). Circadian rhythms in power output on a swim bench. **J. Swimming Research** 7(2): 11-13.
- Sahlin, K., Harris, R.C., and Hultman, E. (1979). Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. **Scand. J. Clin. Lab. Invest.** 39: 551-558.
- Smith, C.S., Reilly, C., and Midkiff, K. (1989). Evaluation of three circadian rhythm questionnaires with suggestions for an improved measure of morningness. **J. Appl. Physiol.** 74: 728-738.
- Vandewalle, H., Pérès, G., Heller, J., and Monod, H. (1985). All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers. A comparative study on men and women. **Eur. J. Appl. Physiol.** 54: 222-229.
- Winget, C.M., Soliman, M.R.I., Holley, D.C., and Meylor, J.S. (1992). Chronobiology of physical performance and sports medicine. In: Y. Touitou and E. Haus (Eds.), **Biological Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine** (Part VI), pp. 230-242. Berlin: Springer Verlag.
- Wyse, J., Mercer, T.H., and Gleeson, N.P. (1994). Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. **Br. J. Sports Med.** 28: 167-170.

*Received October 18, 2000; accepted in final form February 19, 2002.*