



Journal of Human Sport and Exercise

E-ISSN: 1988-5202

jhse@ua.es

Universidad de Alicante

España

Casas, A.

PHYSIOLOGY AND METHODOLOGY OF INTERMITTENT RESISTANCE TRAINING FOR ACYCLIC SPORTS

Journal of Human Sport and Exercise, vol. III, núm. 1, 2008, pp. 23-53

Universidad de Alicante

Alicante, España

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=301023501003>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

## **Journal of Human Sport and Exercise** *online*

*J. Hum. Sport Exerc.*

*Official Journal of the Area of Physical Education and Sport.*

*Faculty of Education. University of Alicante. Spain*

**ISSN 1699-1605**

An International Electronic Journal

**Volume 3 Number 1 January 2008**

### **PHYSIOLOGY AND METHODOLOGY OF INTERMITTENT RESISTANCE TRAINING FOR ACYCLIC SPORTS**

Casas, A.

Assistant Professor for "Physiology Applied to Physical Education". Department of Physical Education.  
Faculty of Humanities and Educational Sciences. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

**Address for correspondence:**

Prof. Adrián Casas

[acasas@huma.fahce.unlp.edu.ar](mailto:acasas@huma.fahce.unlp.edu.ar)

#### **ABSTRACT**

Resistance training for acyclic sports has traditionally been carried out using training methods developed for cyclic sports. These methods were developed from the study of the physiological bases of maximum oxygen consumption (VO<sub>2</sub>max), prioritising "central" cardiovascular factors (cardiac) above "peripheral" factors (muscular) and omitting in-depth analysis of muscular behaviour during acyclic resistance. This article intends to: a) analyse certain physiological aspects needed to understand intermittent resistance exercise, b) define what intermittent resistance effort is, what its unique features are and how it differs from interval exercise, and c) develop a specific proposal for designing intermittent resistance training loads for acyclic sports. **Keywords:** training, intermittent, resistance, sports, acyclic.

## INTRODUCTION

Acyclic sports (e.g. football, basketball, rugby, hockey, tennis, handball, combat sports, etc.) consist of a blend of actions of different intensities, durations, frequencies and kinetic characteristics that significantly modify the metabolic and muscular analysis of effort. Acyclic sports base their actions on highly specific movement patterns that demand, for example, “changes in direction at speed”. This and other specific abilities such as “the ability to repeat accelerations”, demand the development of training methods that take them into account (Bishop, 2002; Carling and Reilly, 2005; Bangsbo, 1992; Colli, 1997). The training method known as the “intermittent method” is precisely that which is able to respond to the demands of acyclic sports in ideal fashion.

This article is divided into two parts: the first deals with the physiological aspects of intermittent resistance exercise and the second looks at the methodological aspects of intermittent resistance training.

## PHYSIOLOGY OF INTERMITTENT EXERCISE

### 1. Definition of Intermittent Exercise: *first considerations*

The appearance in sports training\* of intermittent exercise as a training method† could be regarded as a more or less recent phenomenon, although physiological research into these kinds of efforts and their effects began in around 1960.

Currently, many articles deal with intermittent exercise without answering the question – What is intermittent effort? – and this lack of precision leads to uncertainty and controversy.

All disciplines based on the study and application of scientific knowledge must be based on precise and universally agreed terminology. It is therefore essential to define the concept of “intermittent exercise”. The Spanish dictionary refers to **Exercise** as “the action of playing or exercising”. Gymnastics and its different associated activities agree that it is a configuration of movements with more or less specific aims. Pate et al. (1995) defines exercise as “a set of voluntary, planned and structured movements designed to maintain or increase one or more components of physical aptitude”. The dictionary defines **Intermittent** as something that is interrupted and restarts in alternate fashion. In our field of study, “*Intermittent*” is not a synonym of “*Interval*”, as the famous Swedish researcher Per Olof Astrand made clear in his early publications (1960a; 1960b), using both terms (interval exercise and intermittent exercise) for different applications. One of the substantive differences that Astrand refers to is the duration of the effort and its intensity: intermittent exercise involves periods of intensive muscular activity followed by periods of moderate exercise or even rest with a maximum time for the load of 1 minute. Later, Astrand (1992) stated that intermittent work was different to interval work, as the latter type of training used a load duration of

---

\* Sports Training is a complex process of activities, designed for the planned development of certain states of sports performance and its exhibition in situations of sports verification, especially in competitive activities (Martin et al, 2001).

† Training Methods are planned procedures for the transmission and configuration of content, as part of certain types of training designed to achieve a goal (Martin et al, 2001).

2 to 6 minutes. Here it is true, as stated by Bisciotti (2004), that the interval work known as the “classic Freiburg method” is based on repetitions over distances of 200, 300 and 400 metres and can involve a time of less than 1 minute (Van Aaken and Berben, 1971), but its aims are different to those of intermittent work.

As regards the duration of the load, this factor has significant physiological implications. When making an effort involving over 1/6 or 1/7 of total body musculature (e.g. running), the cardiovascular, respiratory, neuromuscular and metabolic systems actively participate in the exercise. If the duration of exercise is equal to or less than 1 minute, the cardiovascular system will be important throughout the repetitions (and during the pauses) but there will not be enough time – in each repetition, mainly the first – for the neuromuscular system to take part. We could say that there is “a physiological delay” in the response and adjustment between the cardiovascular and neuromuscular systems that is used by intermittent exercise (Seiler, 2002).

Intermittent exercises place the accent on stress at peripheral level (neuromuscular, vascular and metabolic), these being the “muscle” factors of resistance. This is highly significant, as the study model applied in the field of the physiology of exercise and sports training for decades placed the role of the central factors (cardiac) above that of the peripheral factors (muscular) in the resistance performances of all sporting disciplines. I recommend the works of Richardson, 2000 and 2004, to gain a deeper understanding of these factors.

The early contributions of Astrand (1960a; 1960b) to the topic are certainly surprising, the author states that “during short periods of work with high energy rates, aerobic provision is adequate, despite the incomplete transport of oxygen during the activity of the load. With very short periods of work, of 30 seconds or less, a very intense load may be placed on the muscles and oxygen transport organs, without affecting the anaerobic processes that lead to any significant rise in blood lactate concentrations. In order to study intermittent exercise and its effects, Bangsbo (2000a) recommends placing special emphasis on intensity, especially relative intensity. For example: it is possible to complete an hour of exercise with efforts of 15” x 15” if the intensity is 100% or slightly above  $\text{VO}_2\text{max}$ , while only a few minutes of exercise can be completed if the intensity is 70% of Peak Power (PP). An elite sportsperson can have a PP of 1000 W, reaching their  $\text{VO}_2\text{max}$  at 250W (25% PP). With exercises such as running, the parameter or reference value used for intensity is the Maximal Aerobic Velocity<sup>‡</sup> (MAV). Suggested training loads are between 100 and 150% of MAV, according to the functional orientation of the work (see below, “methodology of training” section). For the moment, we shall consider two types of intermittent exercise: 1) Intermittent “aerobic” (ITA), 2) Intermittent High Intensity (ITHI). They each have different functional approaches and training effects. During this article we will go into these kinds of work and will see that ITHI should not be confused with speed resistance work. Another important point is that intermittent efforts see alternating variations in the Intensity, Duration, Frequency, Kinetics<sup>§</sup> and Kinematics<sup>\*\*</sup> of muscular actions,

<sup>‡</sup> Maximal Aerobic Velocity (MAV) is the speed of movement at which one reaches 100% oxygen consumption ( $\text{VO}_2\text{max}$ ).

<sup>§</sup> Kinetics: study of the forces that act on objects and bodies (Watkins, 1999).

<sup>\*\*</sup> Kinematics: study of the movement of bodies and objects (Watkins, 1999).

meaning that the cardiovascular and neuromuscular systems take part in a specific fashion that is very different to the physiological model of “continuous” or “interval” exercise. Several studies have shown, for example, the relationship between muscle contraction cycle and vascular function in the muscle tissue involved. Blood flow in the skeletal muscle varies in direct relationship with the type of effort and the moment of the exercise (start, middle or peak effort), observing fluctuations in muscle blood flow depending on the type of mechanical work involved, with specific effects in training (Schoemaker et al, 1994; Tschakovsky et al, 1995; Walloe and Wesche, 1988).

Other studies underline how the biomechanical and physiological characteristics of muscle contractions condition, regulate and modulate the effects of training (Bosco, 2000; Gardiner, 2001).

Main characteristics of intermittent exercises.

- They involve efforts of up to 1 minute in duration.
- They are carried out at between 100% and 150% MAV (maximal aerobic velocity).
- They can be: ITA (intermittent “aerobic”) or ITHI (intermittent high intensity).
- They are characterised by the alternation of variations in the intensity, duration, frequency, kinetics and kinematics of muscle actions, causing greater peripheral stress (muscular) than central (cardiac).
- Neuromuscular and  $\text{VO}_2$  involvement is quite different to that of continuous and interval exercise.

## **2. Differences between Intermittent and Interval exercise**

Both exercises belong to the group of work known as “Intermittent”, as they alternate loads and pauses during the efforts. If we compare an intermittent “aerobic exercise” (ITA) with an interval exercise (IN) that has the same functional orientation, we can see that one of the main differences lies in the intensity and duration of the muscle work. Astrand (1992) states that in the ITA exercise we see the alternation of “explosions” of intense exercise (100% MAV or more, that is: maximal and supramaximal exercises) and “brief periods” (less than 1 minute) with gentler exercise. This involves  $\text{VO}_{2\text{max}}$  differently and highlights the effects of training at muscular level. However, in the IN exercise the effort is carried out at intensities lying between the lactate threshold (LT) and  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (that is: submaximal to maximal exercises) and the duration of the load can last for up to 5 minutes (Daniels, 1984). The IN training model with its “rest pauses” triggers major cardiovascular adaptations, mainly in the Oxygen Pulse (Nöcker, Bohlau and Hartleb, 1980).

The benefits of ITA exercise depend on the total distance run at the programmed intensity (e.g., 110% MAV), as this involves a determined number of muscle contractions performed at “optimal intensities” (Noakes, 1991 and 1990). Training effects are modelled on the basis of the duration of the load and the pause, intensity and total volume (Daniels, 1998; Billat, 2001).

## **3. Characteristics of $\text{VO}_2$ during intermittent exercise**

In the works of Astrand (1960), a subject with a  $\text{VO}_{2\text{max}}$  of 4.6 litres/min managed to work on a cycle ergometer with a load of 350 Watts for approximately 8 minutes. When

the load was reduced by 50% (175W) he was comfortably able to exercise for 60 minutes, with an average  $\text{VO}_2$  of 50% during the work. During another session, the same subject was asked to work at 350W, but alternating 3 minutes under load with the same time for recovery (interval work), and he managed to work for one hour with difficulty, and in this case the average  $\text{VO}_2$  was maximal. The duration of the loads (and pauses) was then reduced and it was seen that the total  $\text{VO}_2$  during the hour of work did not fall significantly during 30 second work with the same recovery time (intermittent work). Two points in these studies should be underlined: 1) when working continuously the subject could only perform 8 minutes exercise at 350W, while with interval and intermittent exercise he achieved 30 minutes at 350W, and 2) when the loads exceeded 1 minute the stress was very high, mainly at metabolic level, with an increase in lactic acid values. However, during intermittent work, with 30 second loads alternated with the same recovery time, an effect on  $\text{VO}_2$  similar to that of interval work was achieved.

If a person runs continuously at the speed that correspond to 100%  $\text{VO}_2$  (MAV), he will only be able to sustain the effort for 4 to 11 minutes. This time is known as the Limit Time at Maximal Aerobic Velocity (Lim.T MAV). However, if he performs intermittent efforts (e.g.: 15" x 15"), he can work for 60 to 70 minutes without difficulty, with similar observations as those made above concerning the study by Astrand. The resistance efforts demanded by team games ("intermittent sports" such as football, basketball, hockey, handball, rugby, etc.) involve the development of this capacity: *intermittent resistance*.

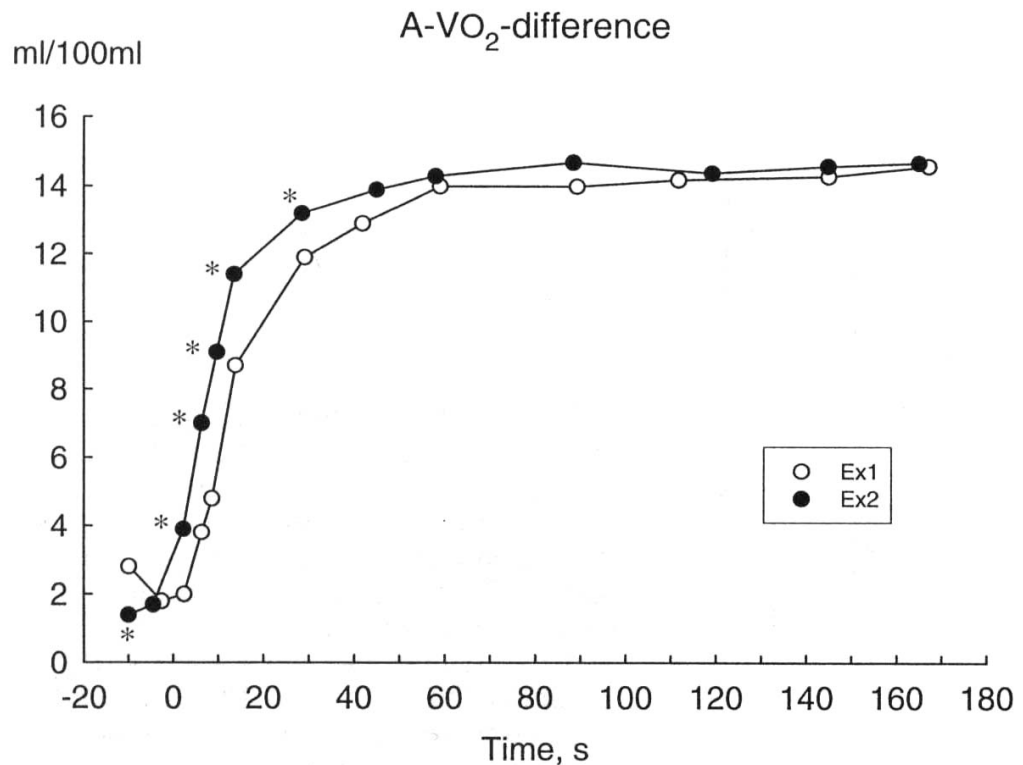
### **Muscle $\text{VO}_2$ kinetics**

*Muscle  $\text{VO}_2$  kinetics refers to the time needed by the skeletal muscle to increase oxygen uptake to accompany the increased mechanical power of the effort.*

When the exercise begins, the integrated response of the pulmonary, cardiovascular and muscular systems characterises  $\text{VO}_2$  kinetics. This response is highly sensitive to aerobic training (Phillips et al, 1995) and can be precisely measured (Grassi et al, 1996). The role played by each of these systems to determine  $\text{VO}_2$  kinetics in effort is still being debated (Cerretelli et al, 1980; Hughson et al, 1996). A wide range of studies have been made of the subject, using different kinds of exercises and even animal models (Grassi et al, 1998a and 1998b). This very diverse selection of work demands very careful analysis.

Certain studies showed that the increased blood flow in the lower members (and its provision of  $\text{O}_2$ ) contributed to the increase in  $\text{VO}_2$  during exercises of moderate intensity (Bell, 2001; MacDonald, 1998 and 2000; Shoemaker, 1994).

Bangsbo et al. (2000) studied the kinetics of muscle  $\text{VO}_2$  at the start of an intense dynamic exercise. The authors showed that the intense muscle contractions after some 12 seconds of the exercise increased muscle  $\text{O}_2$  uptake by 50% and, reaching a peak  $\text{O}_2$  uptake of 90% after 50 seconds. The use of "limited"  $\text{O}_2$  at the start of the intense exercise does not appear to be related to insufficient availability of  $\text{O}_2$ , but may well be associated with inadequate distribution of the blood flow in the active muscles that limits the uptake of  $\text{O}_2$  at cell level.



**Figure 1.** Muscle extraction of O<sub>2</sub> during intensive exercises (Bangsbo, 2000).

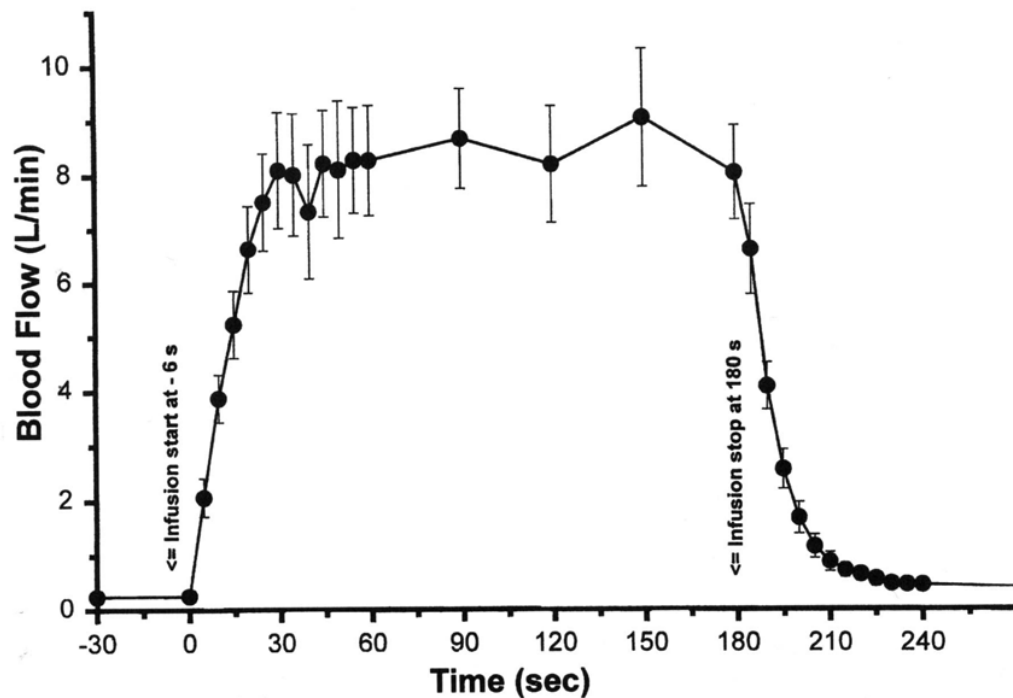
### Muscle blood flow

Several studies have used isolated muscle preparations to analyse the maximal blood perfusion peak (MPP) and the muscle O<sub>2</sub> extraction peak (PEO<sub>2</sub>), and the values found were of 50-60ml/100g/min and 80-100ml/100g/min, respectively. Later, other studies of intact human muscles found that MPP was 150-300ml/g/min and PEO<sub>2</sub> was 240-500ml/g/min (Andersen and Saltin, 1985; Richardson, 1993; Laughlin, 1996). These values show the significant potential of skeletal muscle for provoking vascular changes, with major metabolic implications, during the exercise.

Changes in muscle blood flow during exercise are studied using a “two-stage” model (Hughson, 1997; Shoemaker, 1996 and 1997) with an initial “rapid” response stage followed by a second “slower” stage that starts 15 to 20 seconds later and in which “feed-back” predominates.

Kurjiaka and Segal (1995) state that the initial factor responsible for increased muscle blood flow during exercise is Acetylcholine (ACh), regarded by the researchers as the real link between the neuromotor activation of the muscle and hyperaemia (large concentration of blood). Another important element is adenosine, a molecule that significantly increases during intense muscle contractions. In Figure 1 (Radegran and Calbet, 1999) the authors used Doppler ultrasound techniques to evaluate the increase in blood flow by time after an infusion of adenosine (6 seconds before the exercise) and an

inhibiting infusion at 180 seconds. The adenosine infusion increased flow 30% more than the effect caused by the exercise itself.

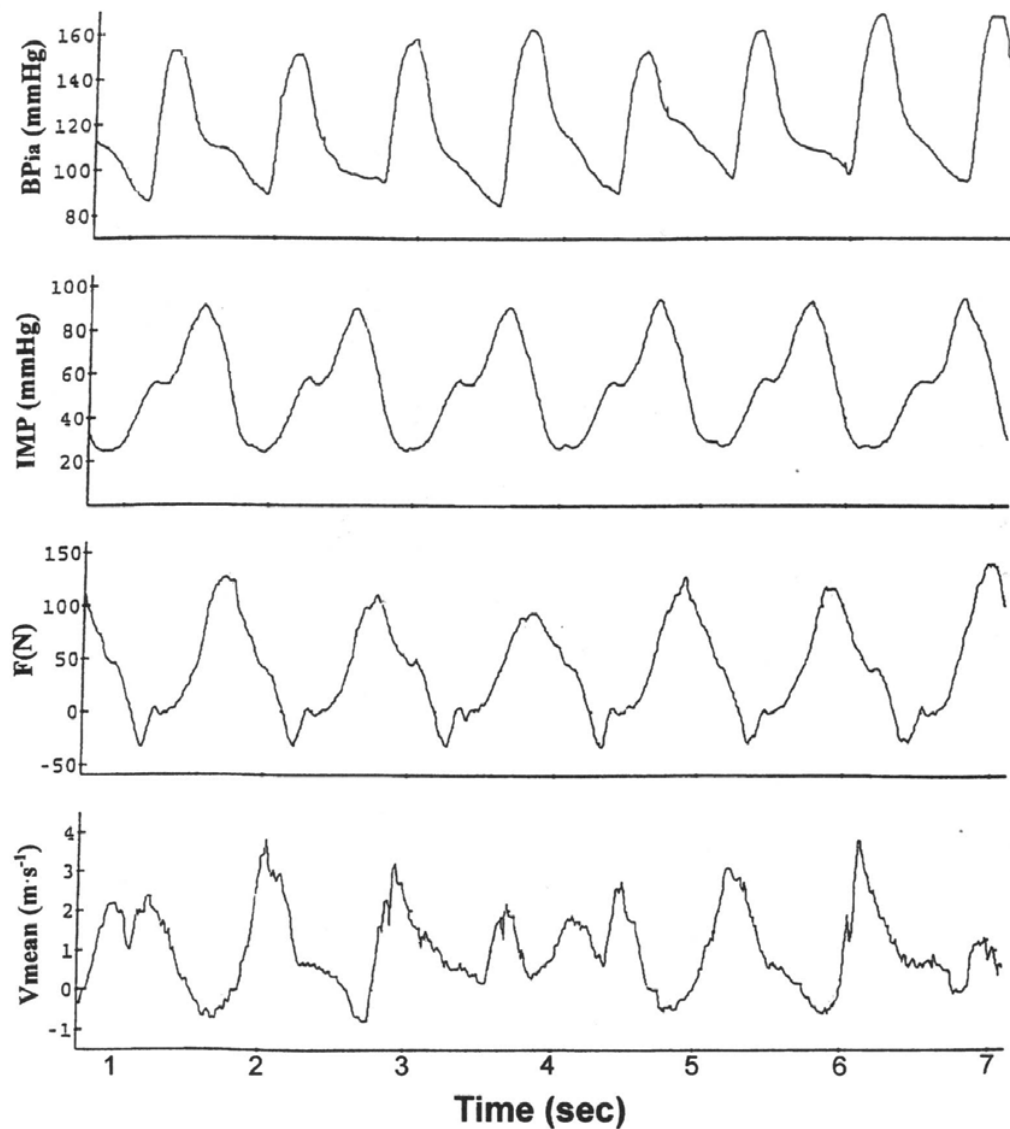


**Figure 2.** The effect of Adenosine on the change in femoral artery blood flow by time (Radegran and Calbet, 1999).

Muscle blood flow varies as a direct function of the type of effort and the moment of the same. The variation in speed and the rapid increase in blood flow at the start of the exercise are related to the muscle contraction cycle. Figure 3 shows the behaviour of different variables during the muscle contraction cycle, studied in the dynamic knee extensor exercise. Speed and blood flow undergo variations during the muscle contraction and relaxation stages of the exercise (Radegran and Saltin, 1998).

Figure 3 shows the four variables analysed, the first (at the top) is the intra-arterial blood pressure (BPia), the second is the intramuscular pressure (IMP), the third is the force (F) expressed in Newtons and the fourth and last is the average blood flow speed. Note how the latter is the one showing most variations as regards the others. Another point I would like to underline in this Figure is the relationship between the Peak F and the other variables, it logically coincides with Peak Imp and precedes Peak blood flow speed.

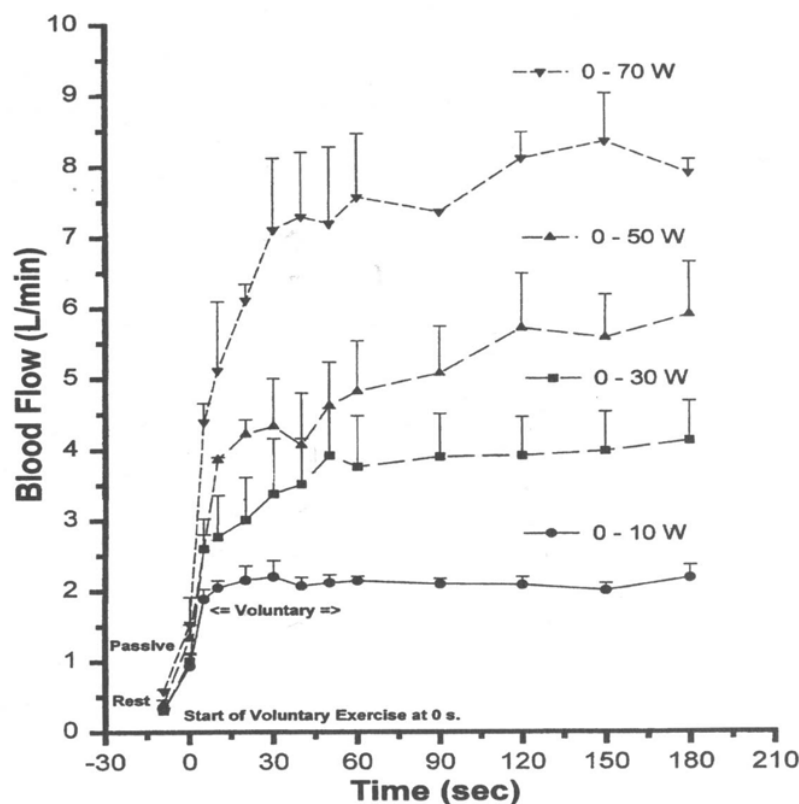




**Figure 3.** Variations in femoral artery blood flow and muscle contraction (Radegran and Saltin, 1998).

(Many studies of the subject use the dynamic knee extensor exercise as their “physiological study model”, described and published by Andersen et al, 1985a).

The same researchers measured arterial flow and estimated the time for the increase in flow at different work rates or intensities (Radegran and Saltin, 1998). Figure 4 shows how very light loads reach half the peak blood flow value in less than 5 seconds, while heavier loads close to peak power, require  $\leq 10$  seconds.



**Figure 4.** Measurement of femoral artery blood flow at rest with passive mobilisation and during exercise with different intensities (Radegran and Saltin, 1998).

There is “a physiological link” between blood flow and mechanical work with muscle  $O_2$  uptake, similar to that existing between Cardiac Output per Minute (COM) and  $O_2$  uptake at systemic level (for every 5 litres of blood/1 litre uptake of  $O_2$ /minute), while with an exercise carried out with the knee extensors, for every 7 litres of blood/1 litre uptake of  $O_2$ /minute (Andersen and Saltin, 1985). These values vary according to the muscle mass involved and, of course, the training status.

It has been suggested that  $O_2$  delivery could limit muscle uptake kinetics during intense exercises, but there are few studies of this. Paterson et al. (2005) recently studied blood flow (arterial femoral) increase time related to  $VO_2$  during a high intensity exercise and found that the “slow” phase (2<sup>nd</sup>) of  $VO_2$  was accompanied by a sustained increase in blood flow in the legs, with a consequent increase in  $O_2$  uptake in response to the greater demand. This data leads us to believe that there are elements at muscle level with significant potential for control.

Previously, studies by Tordi et al (2003) analysed the influence on  $VO_2$  kinetics of alternating high intensity exercises ( $>85\%VO_{2max}$ ) with accelerations and sprints. They showed that  $VO_2$  was faster with these kinds of exercises. This kind of exercise clearly corresponds to that of “intermittent sports”.

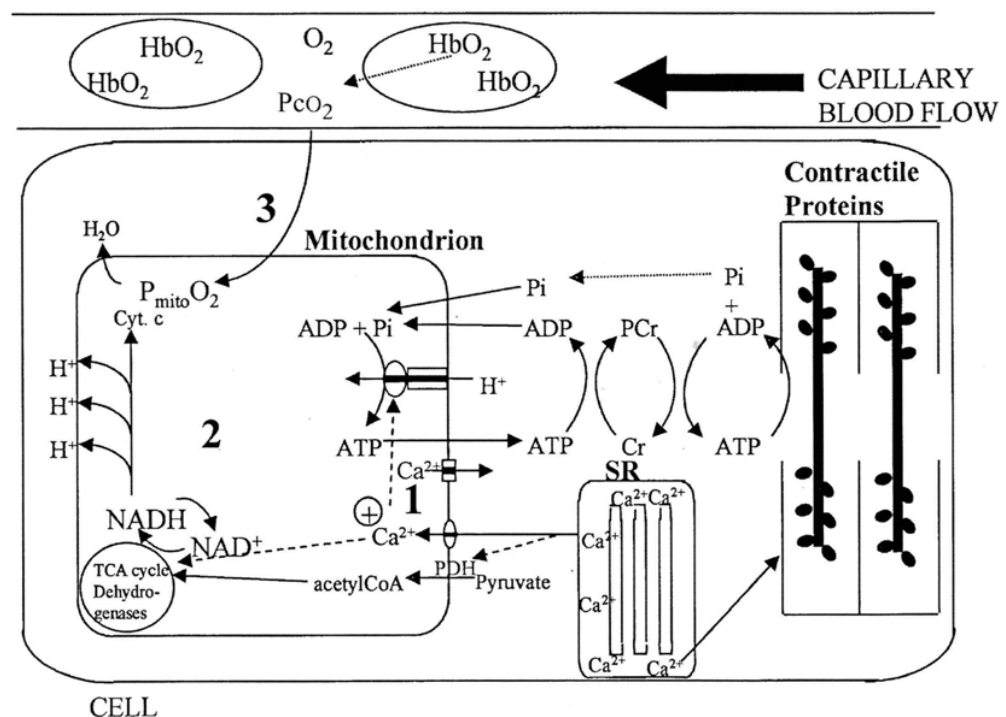
Krustrup et al (2004) studied the effects of intermittent training on one leg (Le) with the other used for control purposes (Cl). An intensity of  $150\% VO_{2max}$  was used. After 7

weeks training, the effects were evaluated by using tests of different intensities (10, 30 and 50 W, respectively) The results showed that this kind of training causes increased performance with high intensity exercises (30 W to 50 W), while no significant improvement was observed for low intensity exercises (10W).

### Other related factors

The studies carried out on muscle  $O_2$  dynamics have confirmed that the speed to increase oxidative phosphorylation is limited by the adaptive mechanisms for the transport and use of muscle  $O_2$ .

Different factors interact to determine muscle  $O_2$  uptake. The speed of adaptation (adjustment) of the skeletal muscle at the start of the exercise is limited by: a) intrinsic cellular factors (activation of metabolic signals and enzymes), and b) the availability of  $O_2$  for the mitochondria (determined by extrinsic  $O_2$  convection and diffusion mechanisms). Biochemical evidence indicates that cellular respiration speed is related to phosphorylation potential, redox potential and the cellular pressure of mitochondrial  $O_2$  ( $P_{mitoO_2}$ ). The first two are determined by intrinsic cellular factors, while  $P_{mitoO_2}$  is determined by extrinsic  $O_2$  convection and diffusion mechanisms. Within a determined range of effort,  $P_{mitoO_2}$  can regulate or modulate muscle metabolism, balancing the use of ATP with its mitochondrial resynthesis and  $O_2$  consumption (Tschakovsky and Hughson, 1999).



Tschakovsky, M. E. et al. J Appl Physiol 86: 1101-1113 1999

Figure 5. "Local" factors that interact to determine muscle  $VO_2$  kinetics.

Figure 5 shows the local factors (muscular) that interact to determine  $\text{VO}_2$  kinetics. They are: A) -  $\text{Ca}^{+}$  levels in the mitochondrial matrix, activators of dehydrogenase and ATP synthase, affecting mitochondrial resistance and redox potential, B) - the ATP/ADP and NAD/NADH ratio, supplying electrons to the respiratory chain (electron transport systems), this flow of electrons modulates the respiratory rate, C) - the mitochondrial  $\text{O}_2$  pressure ( $\text{P}_{\text{mitoO}_2}$ ), which interacts with the ATP/ADP, NAD/NADH and  $\text{P}_i$  ratio to determine the workflow of the respiratory chain and the effects on mitochondrial resistance.  $\text{P}_{\text{mitoO}_2}$  depends on the balance between the  $\text{VO}_2$  and the flow of  $\text{O}_2$  into the cell (product of the capillary pressure of  $\text{O}_2$ ,  $\text{P}_{\text{cO}_2}$ ), which varies according to the local capillary blood flow and the affinity of the Hb to the  $\text{O}_2$  (Tschakovsky and Hughson, 1999).

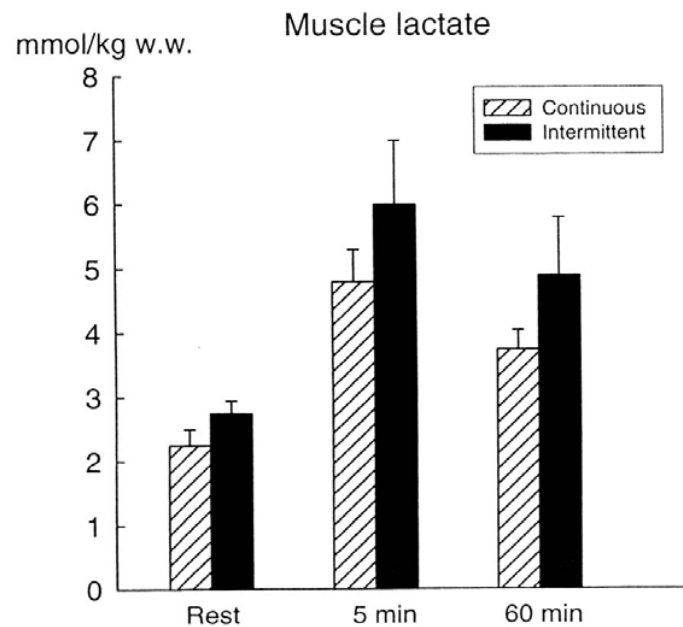
These “local factors” are very much affected by intermittent exercise. For example: the increase in intramuscular  $\text{Ca}^{+}$  directly corresponds with the intensity of the exercise. The ATP/ADP ratio adapts to sudden, repeated demands according to the strength of the exercise.

In addition, during exercises with intensities above 100% MAV, muscle fibre recruitment is specifically focused on the FT. Exercises with these intensities cause slight (and temporary) modifications to the pH, a significant increase in blood temperature and  $\text{CO}_2$ , leading to a displacement of the oxygen dissociation curve to the right and increasing  $\text{O}_2$  release (Bohr effect) (Krustrup, 2004).

Some studies indicate that  $\text{VO}_2$  kinetics at muscle level are determined by metabolic intramuscular factors such as the phosphocreatine depletion rate (Barstow, 1994; McCreary, 1996; Rossiter, 1999). There are many references relating Phosphocreatine with performance during intense, intermittent exercises. Billat (2002) introduces the concept of “phosphocreatine threshold” (PCT) when analysing exercises at between 50% and 125%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . PCT refers to the intensity of the exercise in which all the phosphocreatine stored is found in muscle depletion. The PCT is found at above 80%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Billat also found an intimate relationship between muscle power and the ability to mobilise and resynthesise Phosphocreatine. Bishop (2002) relates the ability to repeat accelerations to buffer capacity, changes in pH Phosphocreatine resynthesis.

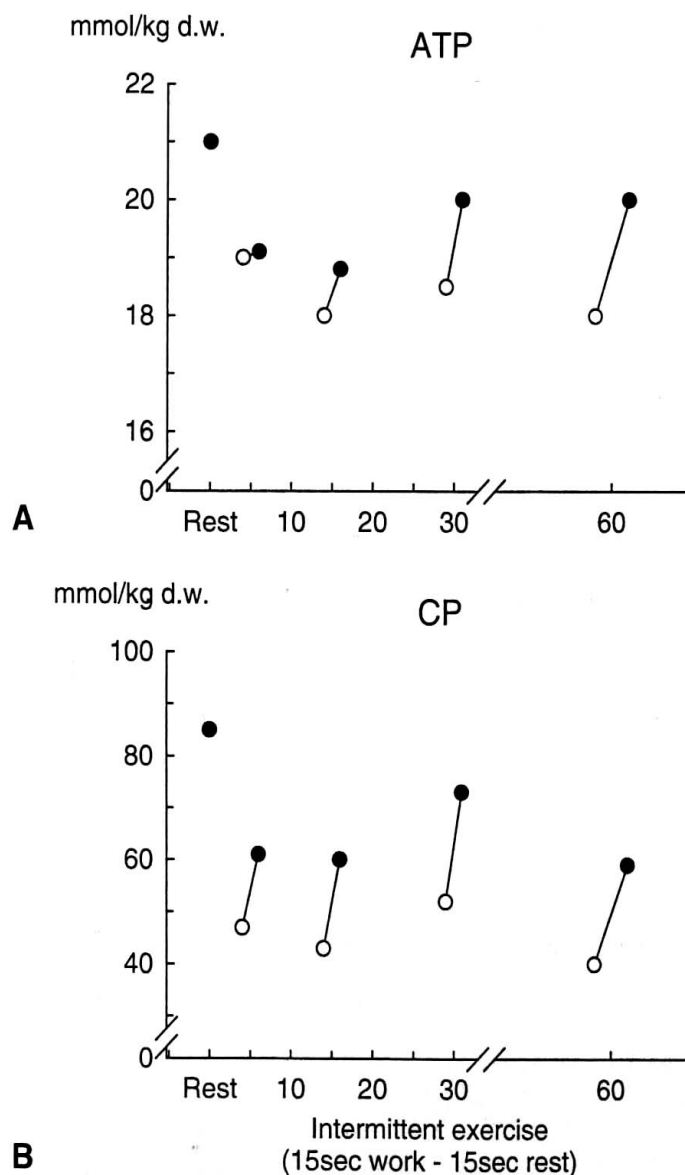
### 3. Use of substrates during intermittent exercise

Essén et al (1977) carried out one of the most interesting scientific studies related to this subject. He studied and compared the metabolic responses of 5 subjects to two cycle ergometer exercise protocols: one continuous (at 157 W) lasting for 60 minutes, and another intermittent (15 x 15 seconds, at 299W), both with similar average  $\text{VO}_2$ . The results showed that the proportion of energy derived from carbohydrates and fats was similar in both types of exercise (continuous and intermittent). *A priori* we would imagine this not to be the case, as the relative intensity is higher with intermittent exercise and this could indicate greater glucogenolitic participation.



**Figure 6.** Lactate concentrations during continuous and intermittent exercise (Essén, 1978).

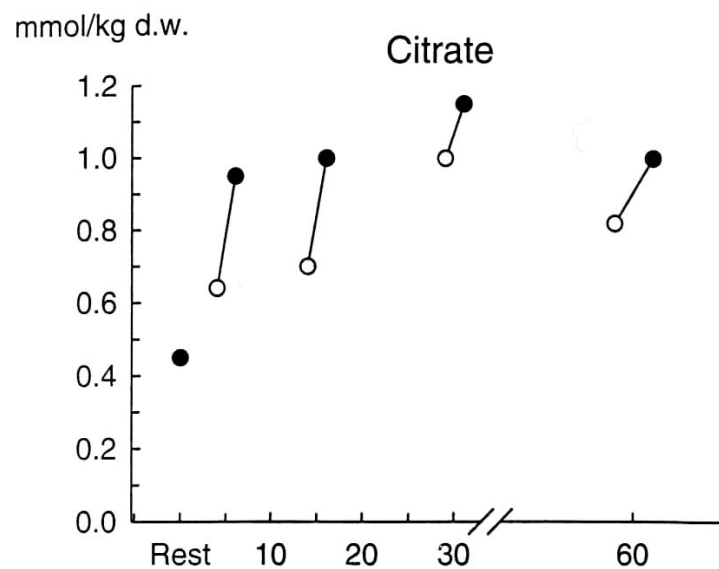
Figure 6 shows the lactate values during both exercises and no significant differences can be observed, except that greater release of lactate from the muscle was observed during the intermittent exercise (in the pauses). The ATP and CP values (Figure 7) during the intermittent exercise show greater fluctuations than during the continuous exercise. PC concentrations fell to 40% of resting values 5 minutes into the exercise, and after the pause they reached 70% of resting values. The behaviour was similar over the 60 minutes of intermittent exercise.



**Figure 7.** Concentrations of ATP and CP during an intermittent exercise (Essén, 1978). (The filled circle is the value at the end of the load, the empty circle is the value at the end of the pause).

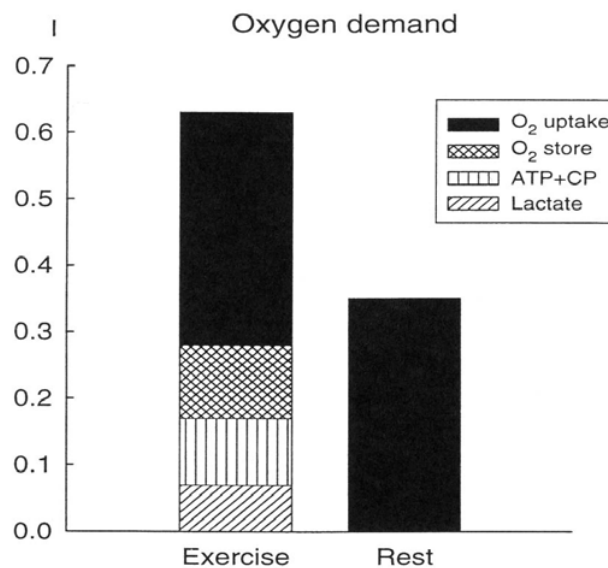
This study showed a lesser glucolytic rate and a greater contribution of fats in the intermittent exercise when compared to the continuous exercise. In each period of work, ATP hydrolysis and the concentrations of ADP and AMP increased, accelerating glucolysis and the Krebs cycle. At the end of the loads and at the start of the pauses ADP and AMP concentrations were very high, but ATP was quickly restored. The citrate accumulated and passed through the mitochondrial membrane to the cellular cytoplasm, thus inhibiting glucolysis and facilitating the use of lipids for aerobic processes (See Figure 8). The highest intramuscular citrate levels were mainly found at the end of the pause but, after 8 minutes of intermittent exercise, muscle citrate values at the end of the loads were higher than at the start of the exercise and were maintained during all the work.

The inhibitor effect of citrate on glucolysis IS NOT IN QUESTION, but whether this mechanism is the predominant one during intermittent exercise IS NOT TOTALLY CLEAR. Peters et al (1995) doubt the potential of citrate for inhibiting glucolysis throughout an intense intermittent exercise, as they allocate this mechanism to a limited range of time. In addition, Bangsbo (1994 and 2000) underlines the fact that the mechanism that reduces the glucolytic rate during an intense intermittent exercise has not been clearly defined.



**Figure 8.** Intermittent exercise (15 x 15 seconds) and behaviour of intramuscular Citrate (Essén, 1978).

Figure 9 shows the contribution of aerobic and anaerobic energy sources during the intermittent exercise and the pause. The values have been calculated for a subject exercising with an active muscle mass of 11 Kg. During the load, note the significant percentage energy intake from the O<sub>2</sub> (taken up by the muscle and myoglobin deposits), while the glucolytic intake (lactate) is very limited. During the pause, O<sub>2</sub> uptake is the undisputed master of intake.



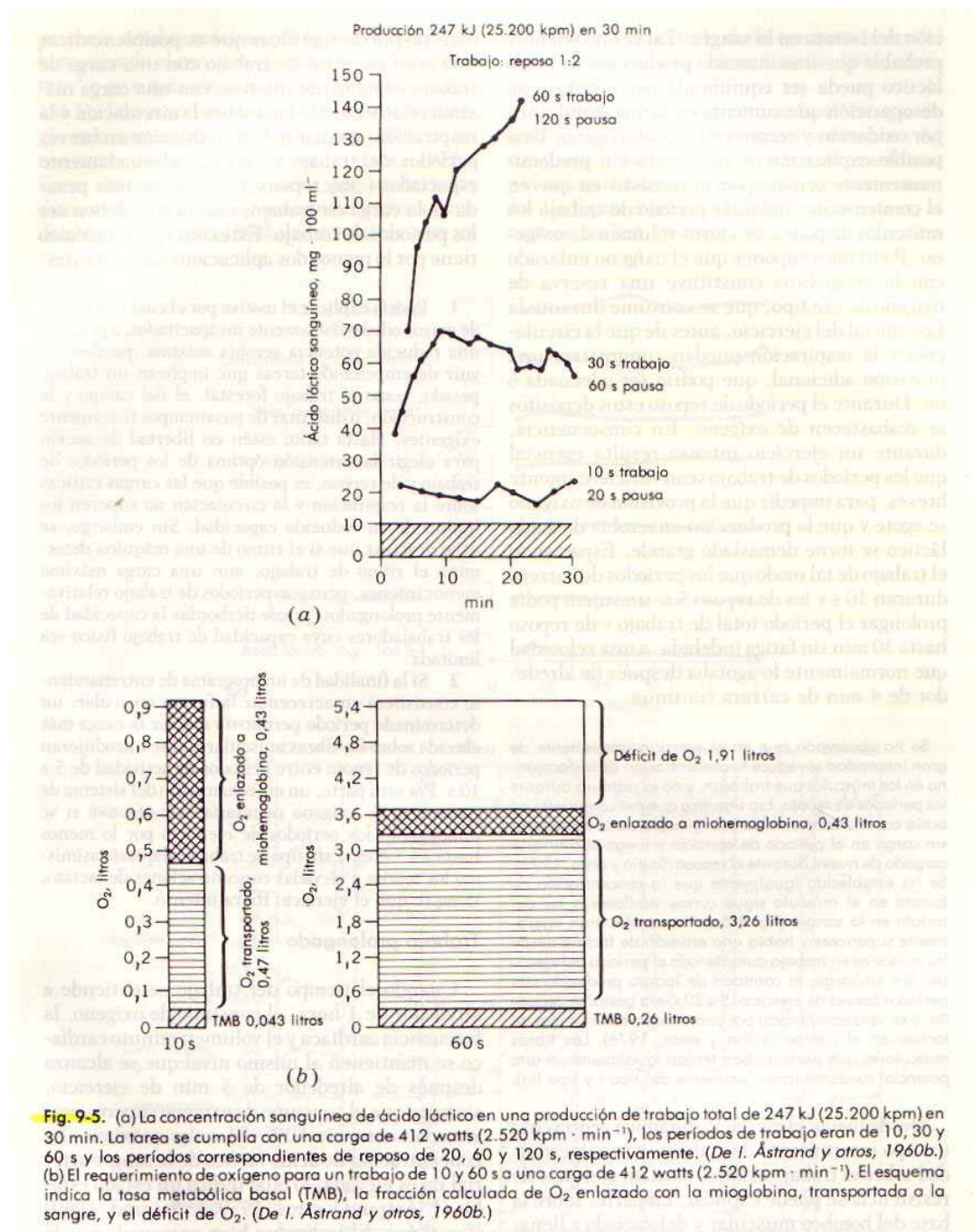
**Figure 9.** Energy contribution during the intermittent exercise (15 x 15 seconds) (Essén, 1978).

#### 4. Other important physiological aspects

##### Myoglobin O<sub>2</sub>

The classic studies by Astrand et al. (1960) laid the groundwork for the study of many aspects of the physiology of intermittent exercise. In Figure 10, (A) a subject worked at 412 W on a cycle ergometer. If the load was applied continuously then he only tolerated 3 minutes, while intermittent 1" x 1" work allowed him to work for 24 minutes to exhaustion. If the exercise was performed with loads of 30" x 60" or 10" x 20" the total time achieved reached 30 minutes. The figure shows the behaviour of lactacidemia for each load. We should highlight how the 10" x 20" loads caused very slight lactacidemia but major effects on the O<sub>2</sub> transport system and mechanical muscle power. Panel B shows another important fact, as with the 10"x20" load aerobic energy provision has a significant intake (both from the O<sub>2</sub> transported by the blood and the muscular myoglobin O<sub>2</sub> reserve). Myoglobin O<sub>2</sub> plays the leading role in intense exercises of short duration.



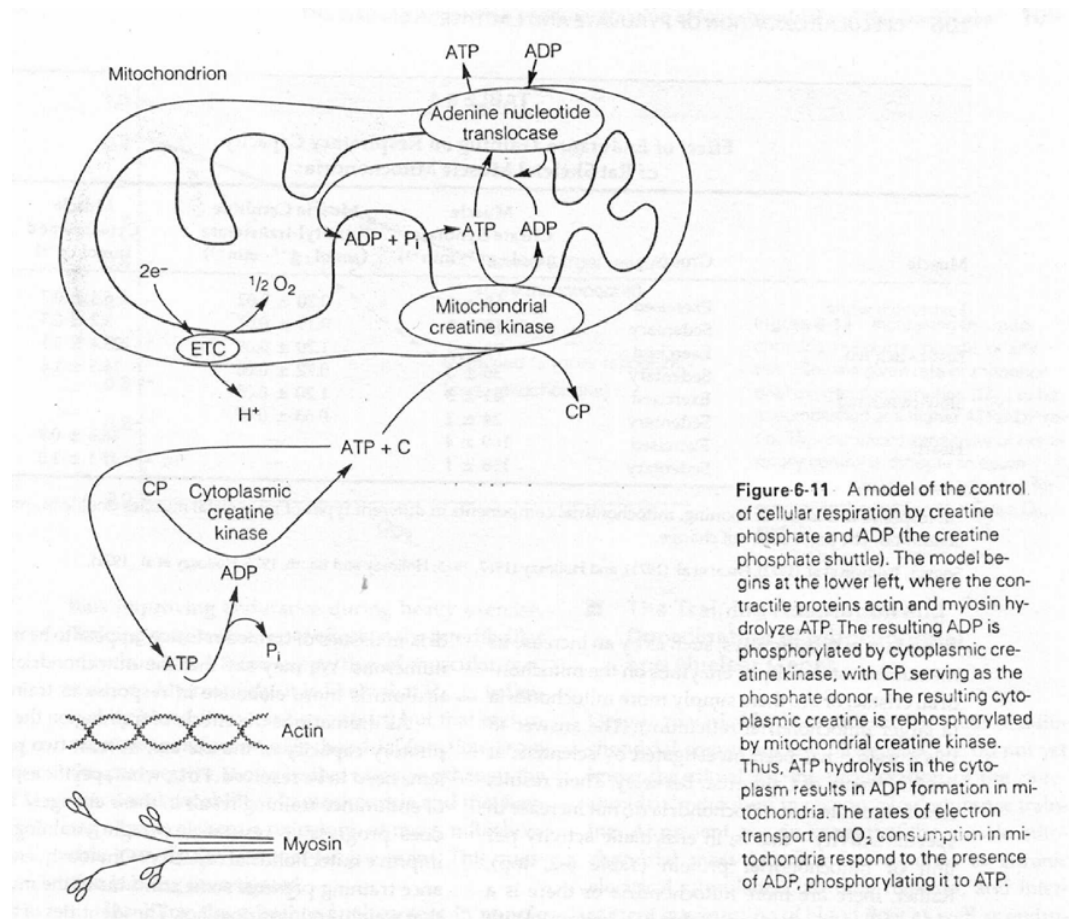


**Figure 10.** (A) Lactacidemia values during an intermittent exercise with loads of different duration. (B) O<sub>2</sub> provision during the intermittent exercise (Åstrand, 1960).

### Phosphocreatine (PC) “Shuttle” Mechanism

An interesting article by Verchoshanskij (1992) refers to the importance of phosphocreatine as a “universal vector”, responsible for transporting energy from where it is produced (mitochondria) to where it is used (muscle sarcomeres). Brooks (2005) underlines phosphocreatine as the real link between cell cytoplasm and the mitochondria. The immediate ATP hydrolysis splits away the PC and the free Creatine

must be quickly phosphorylated by the “mitochondrial reticulum” to resynthesise PC. Figure 11 describes this phenomenon, known as the “PC Shuttle”.



**Figure 6-11** A model of the control of cellular respiration by creatine phosphate and ADP (the creatine phosphate shuttle). The model begins at the lower left, where the contractile proteins actin and myosin hydrolyze ATP. The resulting ADP is phosphorylated by cytoplasmic creatine kinase, with CP serving as the phosphate donor. The resulting cytoplasmic creatine is rephosphorylated by mitochondrial creatine kinase. Thus, ATP hydrolysis in the cytoplasm results in ADP formation in mitochondria. The rates of electron transport and O<sub>2</sub> consumption in mitochondria respond to the presence of ADP, phosphorylating it to ATP.

**Figura 11.** Shuttle de PC (Brooks, 2005).

## 5. Methodology of intermittent resistance training

The origins of the study of Resistance were based on a large number of studies carried out in the fields of Cardiology (Reindell and Roskamm, 1959 and 1963; Hollmann, 1963; Nöcker, 1958) and Metabolism (Margaria, 1964 and 1965; Christensen, Hedman and Saltin, 1960). Attention was focused on the cardiovascular system and muscle metabolism, meaning that the muscle components of Resistance were omitted or subordinated to the above-mentioned fields. This trend was maintained for decades.

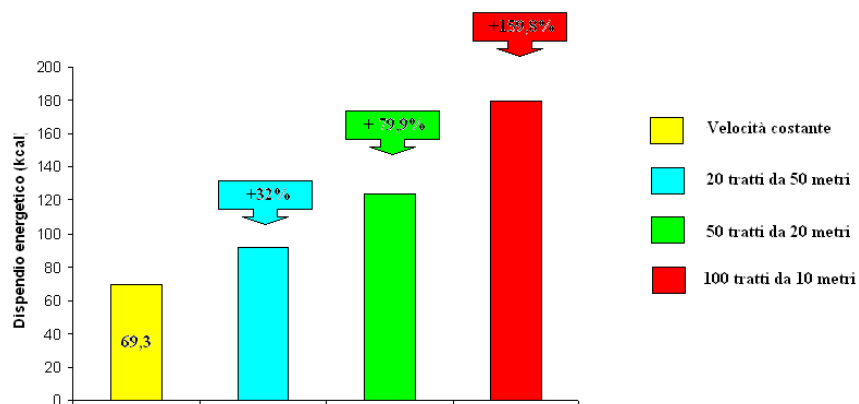
### Preliminary concepts

Specialised sports training texts include over thirty definitions of “Resistance”, most related to the capacity to fight fatigue or carry out efforts of long duration. In the field of Sport, Resistance does not exist as a goal in itself, but forms part of the sporting goal, this being the performance sought by the sport in question (Martin et al, 2001). For example, in team sports resistance is related with the capacity to repeat accelerations and decelerations during play (Reilly et al, 1994; Bangsbo and Lindquist, 1992) and with the development of other repetitive muscle actions such as changes in direction,

sudden stops, irregular intervals of intense effort, combinations of jumps, throws and runs, etc.

Resistance training for sport must correspond to the structure of sport performance (Neumann, 1989) and we need to look at the specific and unique nature of the performance model and not assume that there is a “universal” resistance training model, as has been the case for decades. Resistance performance, as with any other body performance, is the result of the coordinated use of muscle power (Martin et al, 2001). Verchoshanskij (1992) states that resistance is not only and not so much determined by the amount of O<sub>2</sub> that reaches the muscle, but by the adaptation of the latter to an intense, prolonged activity. This clearly shows that the muscle factors related to resistance are essentially conditioning factors.

With team games, running involves greater stages of acceleration and deceleration when compared to other disciplines where running is in a straight line, as well as the fact that the above-mentioned actions are not as frequent or intense. The “intermittent” running in team sports implies greater energy expenditure (See Graph 1). The kinetics and kinematics of muscle actions are always changing (due to the varied situations) and this also involves different neuromuscular and metabolic effects (Bisciotti, 2000).



**Graph 1.** Aspetti bioenergetici della corsa frazionata. Gian Nicola Bisciotti, 2000.

In Graph 1, a subject weighing 77 Kg running at 5m/sec covered 1 Km in a continuous straight line, with an energy expenditure of 69.3 Kcal. However, the same distance run at the same speed but with 20 repetitions of 50 metres involved an energy expenditure 32% higher. The same total distance was then run at the same speed, but with 50 repetitions of 20 metres, and the energy expenditure was 79.9% greater than in the first case. Finally, when the total distance was run with 100 repetitions of 10 metres, the energy expenditure was 159.8% greater than in the first case. **Increasing the number of starts and stops over a certain distance involves a significant increase in the amount of muscle work, reflected in greater energy expenditure and higher**

**neuromuscular stress. It is clear that intermittent running requires the synergic action of the sportsperson's special force\*.**

When referring to the benefits of intermittent training, several writers (Noakes, 1999; Daniels, 1998; Billat, 2001) highlight the fact that they depend on the total distance run at the programmed intensity, for example 110% MAV, as this is related to the number of muscle contractions performed at “optimum” intensity (I assume that the concept of an “optimum” intensity is related to the specific and predominant intensity in a sport). Verchoshanskij (1992) mentions that the main criteria sustaining resistance training in sport should not be  $\text{VO}_2\text{max}$  but morphofunctional modifications at cell level in the skeletal muscle. Other writers (Kindermann, Neumann, 1974 and 1985) stated that, although  $\text{VO}_2\text{max}$  is the most widely used criteria for evaluating the performance of aerobic resistance in sport, it is insufficient because it overestimates the cardiorespiratory component and underestimates the metabolic muscle aspect and variations in mechanical contractility.

An interesting work by Bisciotti (2000), (see Table 1) noted the responses of different parameters of effort (heart rate, lactic acid and others) in runs performed at between 90% and 100% MAV and using two different models, a linear and an intermittent run. In the latter, the author observed significant differences as regards lactic acid, while the heart rate was lower for both intensities. The IT run placed more emphasis on peripheral (muscle) aspects and HR as a central parameter was not a good indicator of effort. The author underlines the importance of muscle training (special force), due to its synergic action in IT performance.

	Linear Run			IT Run		
INTENSITY	T	HR	LA	T	HR	LA
90%MAV	420 s	177	8.7	73	172	12.6
100%MAV	324 s	182	10.5	47.5	164	14.0

**Table 1.** T = Maximum time sustained at said intensity (in seconds), HR = heart rate (beats/minute); LA= lactic acid (mMol/L) (Bisciotti, 2000).

### Design and Organisation of training loads

Several publications dealing with intermittent training recommend more or less standard criteria as regards the development, application and organisation of loads (Colli, Introini and Bosco, 1997; Impellizzeri, Arcelli and LaTorre, 2001). *Here I wish to propose criteria for designing training loads that are a result of the study of certain specific aspects of sport.* As is the case with Bangsbo and his research team, I incline towards studying the specific physiological demands of each sport and using these specific elements to design training loads. For intermittent resistance training, we initially take

\* Special Force is how we refer to the specific and predominant direction of force in a sport.

two basic aspects: a) the total distance covered in the match, and b) the distance covered at “high intensity” (here Bangsbo includes running at above 15km/hr).

These two aspects are very useful for defining training volume.

(I recommend readers to study the work by Carling, Williams and Reilly, 2005 and Antivero, 2006, which deal with these aspects in more depth).

The preparation and design of loads for intermittent training involves the following steps:

- 1- Establishment of MAV
- 2- Definition of the functional orientation of the load
- 3- Establishment of Total Volume
- 4- Establishment of the Duration of the loads and pauses
- 5- Definition of the Intensity of the loads
- 6- Establishment of the type of pause

### ***1) Establishment of Maximal Aerobic Velocity (MAV) in the field***

There are several field tests designed to evaluate “maximal aerobic velocity” (MAV). One of these is a protocolised and scientifically validated procedure, meaning that it offers the objective criteria<sup>††</sup> that make it a scientific instrument (method) for evaluation. The test chosen should satisfy these criteria (Casas, 2005).

It is also important for the test to deal with the specific nature of acyclic sports, meaning that tests based on prolonged linear running to determine MAV are not appropriate for these sportsmen and women (although they may be for athletes and runners in cyclic disciplines).

Scientific literature mentions two main tests that satisfy the above-mentioned requirements for establishing the MAV:

- a- The Léger test (Shuttle with 1 minute intervals) (Bisciotti, 2002; Billat, 2002).
- b- The Bangsbo test (Yo-Yo test and variants) (Bangsbo, 1994; Svensson and Drust, 2005).
- c- Other tests mentioned in the bibliography are more suited to sportsmen and women in cyclic disciplines (e.g. the Brue, Chanon and CAT tests, etc.).

The two tests mentioned (Léger and Yo-Yo) are progressive or incremental. When a progressive test is used to determine MAV it may be overestimated, as the subject can reach his  $\text{VO}_2\text{max}$  and continue for another stage in the test, mainly on the basis of glucolytic lactic acid metabolism. In these cases, MAV should be identified by means of a complementary test known as “MAV Limit Time” (Billat, 2002).

I will now describe the Léger Test. I personally incline towards using it to determine MAV. Readers can find out more about the Yo-Yo test and its variants by reading Krstrup and Bangsbo (2001 and 2003) and Mohr (2003).

---

<sup>††</sup> The Objective criteria are: Validity, reliability and Reproducibility.

### The Léger Test

This test has different variants, but I will use the progressive 20 metre run test with 1 minute intervals (Léger and Lambert, 1982; Léger et al 1988). We draw two parallel lines 20 metres apart. The surface chosen must not be slippery.

The subject proceeds from one line to the other, step on it and return, with an initial speed of 8.5 Km. /hr. The pace is marked by a “beep” or other audible signal on a CD. The speed is increased by 0.5 Km/hr every minute (see the Léger Table) and each period is called a “lap”. The race must not be interrupted and the subject keeps the same pace as the audible signal showing the speed of movement and runs in a straight line. The test ends when the subject cannot maintain the set speed. *The final lap is regarded as the final figure for the test.*

The Léger test has been designed to determine  $\text{VO}_2\text{max}$  and has a validity of 0.84. The equations used to determine  $\text{VO}_2\text{max}$  are:

- 6 to 18 years of age =  $31.025 + (3.238 \times \text{LV}) - (3.248 \times \text{A}) + (0.1536 \times \text{LV} \times \text{A})$
- Over 18 years of age =  $(5.857 \times \text{LV}) - 19.458$   
(Where LV is Lap Velocity and A is Age)

In our case, we aim to determine MAV and therefore go to the Test table to insert the base data for the final lap achieved by the subject in the test. Table 2 has two Velocity columns for each lap, one corresponding to lap velocity and the other to linear or equivalent velocity in the field for this lap, with the latter giving rise to the MAV.

Lap	Lap Speed km/h	Linear Speed km/h	Lap	Lap Speed km/h	Linear Speed km/h
1	8.5	8.8	11	13.5	16.3
2	9.0	9.5	12	14	17
3	9.5	10.3	13	14.5	17.8
4	10	11	14	15	18.5
5	10.5	11.8	15	15.5	19.3
6	11	12.3	16	16	20
7	11.5	13.3	17	16.5	20.8
8	12	14	18	17	21.5
9	12.5	14.8	19	17.5	22.3
10	13	15.5	20	18	23

**Table 2.** Léger Test

Example: if a subject carries out the test in 12 laps, the MAV will be 17 km/hr, as this is always a result of the Linear Velocity.

Alternatively, we can use the following equation to determine MAV from the Léger test:

$$\text{MAV} = 1.502 \times \text{Lap Velocity} - 4.0109 \text{ (Bisciotti, 2002)}$$

### MAV Limit Time Test

A week after completing the Léger test, the subject is evaluated using the MAV Limit Time Test, using this test to check the MAV. The subject warms up for 15 minutes beforehand with joint mobility and stretching exercises. He then runs for 20 minutes\* at 60% MAV. Without stopping, he then accelerates to 100% MAV and runs for as long as possible. The subject must maintain the MAV for at least 3 minutes to confirm the results. If he is unable to achieve this time, MAV has been overestimated and this verification test must be repeated (at least 72 hours later) with an MAV 5% to 10% lower. The MAV Limit Time range is from 4 to 11 minutes, with an average of 6 minutes\*\*.

*Example:* A subject who ran 12 laps (previous example) in the Léger test now carries out the MAV verification test. During the initial warm-up, after the stretching and joint mobility exercises, he performs 3 x 3-minute repetitions at speeds of 10.2, 11.9 and 13.6 Km/hr, respectively. Finally, he runs at 17km/hr, trying to maintain this pace for as long as possible. In this example, the subject manages to maintain the set velocity for 5 minutes, meaning that this is his MAV.

The MAV limit time test not only allows us to identify the “maximal aerobic velocity” achieved in any progressive test, but also provides important information for training†† (Billat, 2001 and 2002).

### 2) Definition of the functional Orientation of the load

Intermittent training is oriented in two ways: a) Intermittent “Aerobic” (ITA), and b) Intermittent “High Intensity” (ITHI). Functional orientation is mainly determined by the intensity applied.

INTERMITTENT “AEROBIC” (ITA)	INTERMITTENT “HIGH INTENSITY” (ITHI)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Intensity</u>: 100 to 120 MAV</li> <li>• <u>Duration Load</u>: 10 to 30 seconds (up to 1 minute)</li> <li>• <u>Training effects</u>: Increased VO2MAX (largely due to muscle factors: &gt;myoglobin efficiency, &gt; muscle O<sub>2</sub> kinetics, &gt; mitochondrial phosphorylation speed, &gt; enzyme levels, etc.). Enhances the “Creatine Shuttle” mechanism.</li> </ul>	<p>&gt; 120 to 140 or 150% MAV*</p> <p>5 to 40** seconds</p> <p>Increases ability to repeat intense accelerations (&gt; PC resynthesis speed), increases muscle glucogen content, increases the levels of active PDH and reduces glucogenolysis and lactate accumulation during intense effort.</p>

**Table 3:** Characteristics of IT work according to functional Orientation (Bisciotti, 2004; Billat, 2001; Colli, 1997; Burgomaster, 2005 and 2006; Tabata, 1996; Tonkonogi, 2002). \*\* The 40 second period is used in cyclic disciplines. Times from 5 to 10 seconds are used for acyclic sports.

\* The time of 20 minutes at 60% MAV is indicated by Billat (2002) and used with long-distance athletes. When using it with acyclic athletes the time should be reduced to 10 minutes or they should perform 3 repetitions x 3 minutes at 60%, 70% and 80% MAV.

\*\* The figure is for long-distance and medium-distance athletes, Billat (2002).

†† This fact is applicable to cyclic sports.

ITHI training ***should not be confused with high-speed resistance training***. Both types of training coincide in that they increase “acceleration resistance” but with very different intensities, volumes, densities and frequencies. For example, in acyclic disciplines high-speed resistance training is based on the combined development of explosive force and local muscle resistance, while specifically working with game actions for 60 to 180 seconds over 6 to 10 series (Grosser, 1992). This means that ITHI training is a method that places more emphasis on the metabolic-muscle aspects of high intensity actions based in running during play. The intensity of work is higher than that of the ITA, but below maximum speed (“sprint”). The previous table lists a range of work of  $\geq 120\%$  to  $140\%$  or  $150\%$  MAV for ITA. This means that we also need to identify the maximum sprint speed of the subject and relate it to the MAV to choose a limit percentage.

*Example: Pedro has an MAV of 17km/hr (4.72 m/sec), so his range of intensity for ITA is from 4.72 to 5.66 m/sec. However, the range for ITHI will lie between  $> 5.66$  to  $6.60$  ( $140\%$ ) and  $7.08$  ( $150\%$ ) m/sec. Pedro also performed a 30 metre maximum sprint test (from a defined starting position), obtaining a result of 3.75 seconds (8m/sec). In this case, he can train with ITHI up to  $150\%$ , as his sprint speed is  $14\%$  above the ITHI limit value. However, if Pedro had obtained a result of 4 seconds (7.5 m/sec) in the maximum sprint test, he would use  $140\%$  MAV for ITHI training, as his sprint speed is very close to  $150\%$  MAV ( $+ 5.5\%$ ). We understand that the difference between the  $\%$  MAV for ITHI and maximum Sprint Speed should be  $\geq 10\%$ , so that developing the training volume of the session and the fatigue this causes does not have a negative effect on the functional orientation of the work.*

Another important factor is to identify the relevance of and need for ITHI work in sport. The contributions of Gorostiaga et al. (2006) quoted by Antivero show that this functional orientation of intermittent training can be highly beneficial in Handball.

### **3) Establishment of total Volume**

In the field of sports training, one of the load components that causes most difficulties is undoubtedly volume. Establishing the volume for intermittent training is no exception. My criteria is, firstly, to consider the analysis of the sport based on the work rate (both absolute and relative) and the training effects sought after by the functional orientation chosen (ITA or ITHI). Many scientific studies have analysed the performance structure of different sporting disciplines and the functional model of competition. Perusal of these studies allows us, for example, to identify the total distance covered by sportspersons in competition, how and at what intensity they do so, how they alternate and other interesting facts, so that we can choose “more reasonable” and appropriate training volumes for at least one specific model of competitive sport.

With acyclic sports, the constant and unpredictable stops and starts, accelerations and changes in direction, and the alternation with other more or less complex actions demand significant calorie expenditure that is not related to the distance covered (global effort rate) but to the relative rate of the same (which actions are performed and how). Analysis of the volume of work can in no way use the same criteria as for cyclic disciplines.



With acyclic sports, the dimensions of the fields of play even dictate different types of running, with different kinetic and kinematic characteristics, which have a specific influence at neuromuscular and metabolic level.

The different studies of the volume of effort of intermittent sportspersons show two well-defined variables: a) total distance covered, and b) distances covered at different speeds (generally: low, high and maximum). Study of the two variables allows us to define a work rate for each functional orientation of intermittent resistance training (see previous Table). 15% to 20% should be added to the distance covered when shaping the volume of work. Finally, we should obviously remember that the volume is also affected by specific aspects of both the subjects and the competitive calendars and programmes.

#### **4) Duration of the loads and pauses**

The duration of both components follow similar criteria.

4.1. The following are the criteria used for the load:

- a- The sport and dimensions of the field of play
- b- The MAV limit time
- c- The Intensity of the load.

*(a) Example: if a subject has an MAV of 17 Km/hr (4.72 m/ sec), his MAV limit time is 4 minutes and training is planned at 110% MAV (5.20 m/sec). By applying the above-mentioned criteria, we can state that if the load is of 20 seconds the subject will run 104 metres in this time, if the subject is a basketball or handball player, the duration of the load may well be exaggerated and non-specific, whereas it may be better for a rugby, football or hockey player.*

(b) The MAV limit time in the example (4 minutes) is low and this is another factor that should be taken into account when establishing the duration of the load.

*Example: Luis plays 5-a-side football. His MAV is 17.8 km/hr and he trains at 110% (5.43 m/sec). His workload is 1,800 metres (bearing into mind that 1,500 metres is the average distance for high intensity runs in this sport. Therefore Luis will perform: 12 rep. X 10sec, 6 rep. X 15 sec, 12 rep. X 10 sec. All at 110% MAV. The training decision was to prioritise the 10 second loads over the 15 second loads (both appropriate for the sport), but Luis had a low TLIMMAV (4 minutes). **In this example, the subject trained at 38% above his TLIMMAV but with a MAV intensity 10% greater! (TLIMMAV - 240 seconds, versus Total Load Time - 330 seconds).** It is important to remember that the training effects correspond to the number of muscle contractions performed at “optimum” intensities and that these factors are related to total load time.*

(c) The intensity of the load is another factor that should be taken into account when establishing the duration of the same. The criteria is the same, meaning the greater the intensity the lesser the duration of the load (and vice versa), of course within the above-mentioned limits for each functional orientation for intermittent training according to the level of the subject, total volume and other factors.

4.2. The criteria for the duration of the pause are as follows:

- a- Duration and Intensity of the load
- b- Physiological aim of the work (within its functional orientation).

(a) The duration and intensity of the load used must obviously be in line with the duration of the pause (generally 1:1, 1:1.5). For example: 15" x 15", 20" x 30", 10" x 15", etc.

(b) As regards the physiological aims, if we intend to increase the speed at which myoglobin O<sub>2</sub> is used and resynthesised, the literature makes it clear that the load times should lie between 5 and 15 seconds and the pauses between 7 and 20 seconds. Optimum load/pause ratio - 1:1.5 (Astrand, 1992; Treuth et al. 1996). In addition, the shortest (although intense) loads create a lesser subjective perception of effort on the Borg scale.

#### **5) Definition of the Intensity of the loads**

The intensity of the loads is defined according to the figures in the Table: "Characteristics of IT work according to their functional Orientation" (Point 2).

#### **6) Establishment of the type of Pause**

Here we decide on the use of an "active" or "passive" pause to alternate with the loads. Active pauses are take place at "active recovery velocity" (ARV). This is generally 50% to 60% of MAV. The physical condition of the subject is obviously the most important factor to take into account here.

### **CONCLUSIONS**

- Intermittent efforts show the alternation of variations in the Intensity, Duration, Frequency, Kinetics and Kinematics of muscle actions, meaning that the cardiovascular and neuromuscular systems participate in a very specific way that is different to the physiological model for "continuous" or "interval" exercise.
- The oxidative system (aerobic) makes a significant contribution to the supply of energy during intermittent exercise, both during loading and the pauses.
- Muscle glucogen is the main substrate during loads, while fats and blood glucose playing this role during the pauses.
- There is an exquisite body control and feedback system for the supply of O<sub>2</sub> to the muscles during intense, intermittent exercises and the muscle blood flow control function. The skeletal muscle has extraordinary potential to provoke vascular changes (with metabolic implications) during exercise.
- If the loads last for  $\leq 30$  seconds and intensity is above VO<sub>2</sub>max, the production of lactate is reduced, but this does not necessarily imply less glucogenolysis.
- The benefits of intermittent exercise depend on the total distance covered at the programmed intensity (e.g. 110% MAV), as this involves a certain number of muscle contractions performed at "optimal intensities". Training effects are modelled on the basis of the duration of the loads and pauses, their intensity and total volume.
- Fatigue during the exercises is multifactorial and complex. One of the factors may be the accumulation of Potassium in the muscle instertice (Nielsen et al, 2004),

leading to a reduction in strength levels and specific neuromuscular disturbances. Glucogenic depletion is a very important factor in fatigue during prolonged and/or competitive intermittent exercises.

- Blood lactate levels have no correlation with muscle lactate values during intermittent exercises.
- The design of an effective training load to develop resistance-related adaptations in acyclic sports should take the following steps into account: a) *Establishment of Maximal Aerobic Velocity (MAV)*, b) *Definition of the functional Orientation of the load on the basis of Intensity*, c) *Establishment of the training Volume*, d) *Establishment of the Duration of the Loads and Pauses*, and e) *Establishment of the type of Pause (active or passive)*.

## REFERENCIAS

1. ANDERSEN P and SALTIN B. (1985). Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *J. Physiol.* 366: 233-249.
2. ANDERSEN P, ADAMS R, SJOGAARD G, THORBOE A and SALTIN B. (1985a). Dynamic knee extension as a model for the study of an isolated exercising muscle in man. *J. Appl. Physiol.* 59, 1647-1653.
3. ANTIVERO E. (2006). Análisis de la distancia recorrida y tasa del esfuerzo en deportes de conjunto. En: Curso a distancia de entrenamiento físico en deportes de conjunto. [www.sobreentrenamiento.com](http://www.sobreentrenamiento.com)
4. ASTRAND I, ASTRAND PO, CHRISTENSEN H and HEDMAN, R. (1960a). Intermittent muscular work. *Acta Physiol. Scand.* 48: 443.
5. ASTRAND I, ASTRAND PO, CHRISTENSEN H and HEDMAN, R. (1960b). Myohemoglobin as an Oxygen-stored in Man. *Acta Physiol. Scand.* 48: 454.
6. ASTRAND PO. (1992). Endurance in Sport. In *Endurance in Sport*, Shephard R y Astrand PO(eds). Ed. Blackwell scientific publication. Oxford 8-15.
7. BANGSBO J. (1994). The physiology of soccer-with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol. Scand.* 151(610) 1-157.
8. BANGSBO J and LINDQUIST F. (1992). Comparison of various exercise tests with endurance during soccer in professional players. *Int. Jou. Sport Med.* 13:125-132.
9. BANGSBO J, KRUSTRUP P, GONZÁLEZ-ALONSO J, BOUSHEL R and SALTIN B. (2000). Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279: 899-906.
10. BANGSBO J. (2000a). Physiology of intermittent exercise. Chapter 5, pp 53-65. En: *Exercise and Sport Science*. Garrett W y Kirkendall D(editors). Lippincott Williams&Wilkins.
11. BARSTOW T, et al. (1994). In: SCHEUERMANN B Y BARSTOW T. O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. (2003) *J. Appl. Physiol.* 95: 2014-2022.
12. BELL C. 2001. In: PATERSON N, KOWALCHUK J and PATERSON D. (2005). Kinetics of VO<sub>2</sub> and femoral artery blood flow during heavy intensity, knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 99: 683-690.
13. BILLAT V. (2002). Fisiología y Metodología del entrenamiento: de la teoría a la práctica. ED. Paidotribo.

14. BILLAT V, SLAWINSKI J, BOCQUET V, CHASSAING P, DEMARIE A and KORALSZTEIN J. (2001). Very short (15 s-15s) interval training around the critical velocity allows middle-age runners to maintain  $\text{VO}_2\text{max}$  for 14 minutes. *Int. J. Sports Med.* 22:201-208.
15. BILLAT V, SLAWINSKI J, BOCQUET V, DEMARIE A, LAFFITE L, CHASSAING P and KORALSZTEIN J. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81: 188-196.
16. BISCIOTTI G. (2004). L'incidenza fisiologica dei parametri di durata, intensità e recupero nell'ambito dell'allenamento intermittente. *SDS*, 60 -61: 90-96.
17. BISHOP D, EDGE J, DAVIS C, DAWSON B and GOODMAN C. (2002). The importance of buffer capacity for repeated sprint ability. Australian Conference of Science and Medicine in Sports. Melbourne, Victoria. *Australian Association for Exercise and Sports Science* (1):101.
18. BOSCO C. (2000). La fuerza muscular: aspectos metodológicos. ED. INDE.
19. BROOKS G, FAHEY T and BALDWIN K. (2005). Exercise Physiology: Human bioenergetics and its applications. Pp 109. 4<sup>ed</sup>. McGraw Hill.
20. BURGOMASTER K, HUGHES S, HEIGENHAUSER G, BRADWELL S and GIBALA M. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J. Appl. Physiol.* 98: 1985-1990.
21. BURGOMASTER K, HEIGENHAUSER G and GIBALA M. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J. Appl. Physiol.* 100:2041-2047.
22. COLLI R, INTROINI E and BOSCO C. (1997). L'allenamento intermittente: istruzioni per l'uso. *Coaching and Sport Science Journal*. 1: 29-34.
23. CARLING C, WILLIAMS, REILLY, T. (2005). Handbook of soccer match analysis. A systematic approach to improving performance. Routledge, Abingdon, UK.
24. CASAS, A. (2005). In: Entrenamiento Personal. Coord. Alfonso Jiménez Gutiérrez. Cap. 9, pág. 227. Ed. INDE.
25. CERRETELLI P, RENNIE DW and PENDERGAST DR. (1980). Kinetics of metabolic transients during exercise. In: Exercise Bioenergetics and Gas Exchange, P. Cerretelli, and B. J. Whipp (1980) (Eds.). Amsterdam: Elsevier, pp. 187-209.
26. CHRISTENSEN E, HEDMAN R and SALTIN B. (1960). Intermittent and continuous running. *Acta Physiol. Scand.* 50: 269.
27. COLLI R, INTROINI E, BOSCO C. (1997). L'allenamento intermittente: istruzioni per l'uso. *Coaching & Sport Science Journal*. 1: 29-34. 1997.
28. DANIELS J and SCARDINA N. (1984). Interval Training and performance. *Sports Med.* 1: 327-334.
29. DANIELS J. (1998). Daniels' running formula. Champaign, IL: Human Kinetics.
30. ESSÉN B, HAGENFELDT L and KAIJSER L. (1977). Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J. Physiol.* 265: 489-506.
31. ESSÉN B. (1978). Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 454:1-32.

32. GARDINER P. (2001). Neuromuscular Aspects of Physical Activity. ED. Human Kinetics.
33. GRASSI BD, et al. (1996). Muscle O<sub>2</sub> uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J. Appl. Physiol.* 80:988—998.
34. GRASSI B, GLADDEN B, SAMAJA M, STARY C and HOGAN M. (1998a). Faster adjustment of O<sub>2</sub> delivery does not affect VO<sub>2</sub> on kinetics in isolated in situ canine muscle. *J. Appl. Physiol.* 85: 1394-1403.
35. GRASSI B, GLADDEN B, STARY C, WAGNER P and HOGAN M. (1998b). Peripheral O<sub>2</sub> diffusion does not affect VO<sub>2</sub> on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J. Appl. Physiol.* 85: 1404-1412.
36. GROSSER M. (1992). Entrenamiento de la Velocidad: fundamentos, métodos y programas. ED. Martínez Roca. Pág.146 a 149.
37. HOLLMANN W and VENRATH H. (1963). In: Fisiología del trabajo físico. Astrand y Rodahl. (1985) 2º edición. ED. Médica Panamericana.
38. HUGHSON RL, et al. (1996). Dependence of muscle VO<sub>2</sub> on blood flow dynamics at the onset of forearm exercise. *J. Appl. Physiol.* 81:1619-1626.
39. HUGHSON Y, et al. (1997). In: TSCHAKOVSKY M and HUGHSON R. (1999). Interacción of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* 86 (4): 1101-1113.
40. IMPELLIZERI F, ARCELLI E and LATORRE A. (2001). L'allenamento intermittente. Profilo metabolico ed adattamenti indotti. *Atletica studi.* 2: 7-15.
41. KRUSTRUP P and BANGSBO J. (2001). Physiological demands of top-class refereeing in relation to physical capacity : effect of intense intermittent exercise training. *J. of Sports Sc.* 19: 881-891.
42. KRUSTRUP P, MOHR M, AMSTRUP T, RYSGAARD T, JOHANSEN J, STEENBERG A, PEDERSEN P and BANGSBO J. (2003). The Yo-Yo intermittent recovery test: physiological response, reliability and validity. *Med. Sci. Sports and Exerc.* 35:697-705.
43. KRUSTRUP P, HELLSTEN Y and BANGSBO J. (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *J. Physiol.* 559: 335-345.
44. KRUSTRUP P, MOHR M, STEENBERG A, BENCKE J, KJAER M and BANGSBO J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med. Sci. Sports and Exerc.*(38) 6: 1165-1174.
45. KURKIAJA D and SEGAL S. (1995). Conducted vasodilation elevates flow in arteriole networks of hamster striated muscle. *Am. J. Physiol.* 269: 1723-1728.
46. LAUGHLIN M, KORTHUIS R, DUNCKER D and BACHE R. (1996). Control of blood flow to cardiac and skeletal muscle during exercise. In Handbook of Physiology, XII: Exercise: Regulation and Integration of multiple systems. Eds. Rowel L and Shepherd J, 705-769. New York: Oxford University Press.
47. LÉGER L and LAMBERT J. (1982). Maximal multistage 20m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub>max. *Eur. J. Appl. Physiol.* 49:1-12.
48. LÉGER, et al. (1988). The multistage 20m shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences.* 62:93-101.
49. MACDONALD, M. (1998 and 2000). En: PATERSON N, KOWALCHUK J Y PATERSON D. (2005). Kinetics of VO<sub>2</sub> and femoral artery blood flow during heavy intensity, knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 99: 683-690.
50. MARGARIA R, et al. (1964). Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 19: 623-628.

51. MARGARIA R, et al. (1965). The kinetic of the oxygen consumption at the onset of muscular exercise in man. *Ergonomics*, 8: 49-54.
52. MARTIN D, CARL K, LEHNERTZ K. (2001). Manual de Metodología del Entrenamiento Deportivo. ED. Paidotribo.
53. MCCREARY C, et al. (1996). In: SCHEUERMANN B Y BARSTOW T.(2003) O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. *J. Appl. Physiol.* 95: 2014-2022.
54. MOHR M, KRUSTRUP P and BANGSBO J. (2003). Match performance of high standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sp. Sciences*. 21:519-528.
55. NEUMANN G. (1990). La struttura della prestazione negli sport di resistenza. *SDS*.
56. NIELSEN J, MOHR M, KLARSKOV C, et al. (2004). Effects of high intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 554: 857-870.
57. NOAKES T. (1991). Lore of running. Champaign, IL. Leissure Press, 450.
58. NOAKES T, MYNURGH K, SCHALL R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub>max test predicts running performance. *J. Sports Sci.* 8: 35-45.
59. NÖCKER J, BOHLAU N and HOHNEN R. (1980). In: Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento. Nöcker J. ED. Kapelusz.
60. NÖCKER J, LEHMANN D and SCHLEUSING G. (1958). In: Fisiología del trabajo físico. Astrand y Rodahl.(1985) 2º edición. ED. Médica Panamericana.
61. PATE R, PRATT M, BLAIR SN, et al. (1995). Physical activity and public health : a recommendation from the Center for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*; 273: 402-407.
62. PATERSON N, KOWALCHUK J and PATERSON D. (2005). Kinetics of VO<sub>2</sub> and femoral artery blood flow during heavy intensity, knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 99: 683-690.
63. PETERS S and SPRIET L. (1995). Skeletal muscle phosphofructokinase activity examined under physiological condition in vitro. *J. Appl. Physiol.* 78: 1853-1858.
64. PHILLIPS SM, GREEN HJ, MACDONALD MJ and HUGHSON RL. (1995). Progressive effect of endurance training on VO<sub>2</sub> kinetics at the onset of submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 79:1914-1920.
65. RADEGRAN G and SALTIN B. (1998). Muscle blood flow at onset of dynamic exercise in man. *Am. J. Physiol.* 274: 314-322.
66. RADEGRAN G and CALBET A. (1999). In: Exercise and circulation in health and disease. (2000). Pp.135. Eds. Saltin B, Boushel R, Secher N y Mitchell J. Human Kinetics.
67. REINDELL H and ROSKAMM H. (1959) Ein Beitrag zu den physiologischen Grundlagen des Intervalltrainings unter besonderer Berücksichtigung des Kreislaufes. *Schweitz. S. Sportmed.*, 7: 1-8.
68. REINDELL H, ROSKAMM H and GERSCHLER W. (1963). Das Intervalltraining, JA. Barth, Munich, 106.
69. REILLY T. (1994) The physiological profile of the soccer player. In Soccer (Ed. Ekblom). Blackwell, Oxford.31-42.
70. RICHARDSON R. (2000) What governs skeletal muscle VO<sub>2</sub>max? New evidence. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (1) 100-107.

71. RICHARDSON R, HARMS C, GRASSI B and HEPPLER R. (2004) El músculo esquelético: ¿amo o esclavo del sistema cardiovascular? Versión en español: PubliCePremium. 5/5/2004. Pid:289.www.sobreentrenamiento.com
72. RICHARDSON R, POOLE D, KNIGHT S, KURDAK D, HOGAN M, GRASSI B, JOHNSON E, KENDRICK K, ERICKSON B and WAGNER P. (1993) High muscle blood flow in man: is maximal O<sub>2</sub> extraction compromised? *J. Appl. Physiol.* 75: 1911-1916.
73. ROSSITER H. 1999. In: SCHEUERMANN B Y BARSTOW T. (2003) O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. *J. Appl. Physiol.* 95: 2014-2022.
74. SEILER S. (2002) Understanding intervals: matching training characteristics to physiological changes. Sitio web: The Institute for Sport, Kristiansand. Norway. Stephen Seiler site.
75. SHOEMAKER J, HODGE L and HUGHSON, L. (1994) Cardiorespiratory kinetics and femoral artery blood velocity during dynamic knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 77:2625-2632.
76. SHOEMAKER J et al. (1996 and 1997). In: TSCHAKOVSKY M Y HUGHSON R. (1999) Interacción of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* 86 (4): 1101-1113.
77. SVENSSON M and DRUST B. (2005). Testing Soccer players. *J. Sp. Science.* 23 (6): 601-618.
78. TABATA I, NISHIMURA K, KOUZAKI M et al. (1996) Effects of moderate intensity endurance and high intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>máx. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1237-1230.
79. TONKONOGI M and SAHLIN K. (2002) Physical exercise and mitochondrial function in human skeletal muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 30(3): 129-137.
80. TORDI N, PERREY S, HARVEY A and HUGHSON R. (2003) Oxygen uptake kinetics during two bouts of heavy cycling separated by fatiguing sprint exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 94: 533-541.
81. TREUTH M, HUNTER G and WILLIAMS M. (1996) Effects of exercise intensity on 24-h energy expenditure and substrate oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(9): 1138-1143.
82. TSCHAKOVSKY M and HUGHSON R. (1999) Interacción of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* 86 (4): 1101-1113.
83. TSCHAKOVSKY M, SHOEMAKER J and HUGHSON R. (1995) Beat by beat forearm blood flow with Doppler Ultrasound and strain-gauge plethysmography. *J. Appl. Physiol.* 79: 713-719.
84. VAN AAKEN E and BERBEN D. (1971) Intervall training. Teoría della corsa prolungata. Ed. Atletica leggera. Milano.
85. VERCHOSHANSKI J. (1992) Un nuovo sistema di allenamento negli sport ciclici. Rivista di cultura sportiva. *SDS.* 27:33-45. Oct/Dic.
86. WALLOE L and WESCHE J. (1988) Time course and magnitude of blood flow changes in human quadriceps muscle during and following rhythmic exercise. *J. Appl. Physiol.* 405: 257-273.
87. WATKINS, J. (1999) Structure and Functions of the Musculoskeletal System. ED. Human Kinetics.

## **Journal of Human Sport and Exercise** *online*

*J. Hum. Sport Exerc.*

*Official Journal of the Area of Physical Education and Sport.*

*Faculty of Education. University of Alicante. Spain*

**ISSN 1699-1605**

An International Electronic Journal

**Volume 3 Number 1 January 2008**

### **FISIOLOGÍA Y METODOLOGÍA DEL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA INTERMITENTE PARA DEPORTES ACÍCLICOS**

Casas, A.

Profesor Adjunto de la cátedra “Fisiología Aplicada a la Educación Física”. Departamento de Educación Física. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

#### **Adress for correspondence:**

Prof. Adrián Casas

[acasas@huma.fahce.unlp.edu.ar](mailto:acasas@huma.fahce.unlp.edu.ar)

#### **RESUMEN**

El entrenamiento de la resistencia en los deportes acíclicos ha sido tradicionalmente desarrollado a partir de métodos de entrenamiento proveniente de los deportes cíclicos. Estos métodos se desarrollaron sobre el estudio de las bases fisiológicas del Consumo máximo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>máx), priorizando los aspectos cardiovasculares “centrales” (cardiacos) por sobre los “periféricos” (musculares) y omitiendo un análisis en profundidad del comportamiento muscular durante los rendimientos de resistencia acíclicos. Este artículo se propone: a) analizar algunos aspectos fisiológicos necesarios para la comprensión del ejercicio de resistencia intermitente; b) precisar qué es un esfuerzo de resistencia intermitente y cuáles son sus particularidades y diferencias con el ejercicio intervalado y c) desarrollar una propuesta concreta para el diseño de cargas de entrenamiento de resistencia intermitente para deportes acíclicos. **Palabras clave:** entrenamiento, intermitente, resistencia, deportes, acíclico.



## INTRODUCCIÓN

En los deportes acíclicos (por ejemplo, fútbol, básquet, rugby, hockey, tenis, handbol, deportes de combate, etc.) se alternan acciones de diferentes intensidades, duraciones, frecuencias y características cinéticas, esto modifica sensiblemente el análisis metabólico y muscular de los esfuerzos. Los deportes acíclicos basan sus acciones en patrones de movimiento muy específicos, que requieren, por ejemplo, “cambios de dirección en velocidad”, ésta y otras habilidades específicas, como “la capacidad para repetir aceleraciones”, requieren el desarrollo de métodos de entrenamiento que contemplen estas particularidades (Bishop, 2002; Carling y Reilly, 2005; Bangsbo, 1992; Colli, 1997). Es precisamente el método de entrenamiento de la resistencia denominado “método intermitente” el que puede responder de manera idónea a las exigencias planteadas por los deportes acíclicos.

Este artículo presenta dos partes, la primera referida a los aspectos fisiológicos del ejercicio de resistencia intermitente y la segunda relacionada con los aspectos metodológicos del entrenamiento de resistencia intermitente.

## FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO INTERMITENTE.

### 1. Definición del Ejercicio Intermitente: *consideraciones iniciales*

La irrupción en el campo del entrenamiento deportivo\* del ejercicio intermitente como método de entrenamiento† podría considerarse más o menos reciente sin embargo las investigaciones fisiológicas acerca de este tipo de esfuerzos y sus efectos tienen origen alrededor de 1960.

Actualmente, muchos artículos se ocupan del ejercicio intermitente, sin dejar claro ¿qué es un esfuerzo intermitente?, esta falta de precisión provoca dudas y controversias.

Toda disciplina que se base en el estudio y la aplicación de conocimientos científicos debe partir de la precisión y el consenso terminológico. Es por lo tanto imperioso definir o conceptualizar “el ejercicio intermitente”. El diccionario de habla hispana se refiere al **Ejercicio** como “la acción de practicar o ejercitarse en una cosa”. En tanto que la Gimnasia y sus diferentes escuelas acuerdan que éste es una configuración de movimientos con fines más o menos específicos. Pate y col. (1995) definen al ejercicio como “el conjunto de movimientos voluntarios, planificados, estructurados y dirigidos al mantenimiento o incremento de uno o más componentes de la aptitud física”. Mientras que **Intermitente** es definido por el diccionario como aquello que se interrumpe y vuelve a empezar alternativamente. En nuestro campo de estudio, “Intermitente” no es sinónimo de “Intervalado”, el célebre investigador sueco Per Olof Astrand lo dejó claro en sus tempranas publicaciones (1960a; 1960b) empleando ambos términos (ejercicio intervalado y ejercicio intermitente) con diferentes aplicaciones. Una de las diferencias sustantivas referidas por Astrand es la duración del esfuerzo y su intensidad: el ejercicio intermitente implica períodos de trabajo muscular intensivo

---

\* El Entrenamiento Deportivo es un proceso complejo de actividades, dirigido al desarrollo planificado de ciertos estados de rendimiento deportivo y a su exhibición en situaciones de verificación deportiva, especialmente en la actividad competitiva (Martin y col, 2001).

† Los Métodos de Entrenamiento son procedimientos planificados de transmisión y configuración de contenidos, dentro de unas formas de entrenamiento dirigidas a un objetivo (Martin y col, 2001).

seguidos por períodos de ejercicio moderado o incluso de reposo, el tiempo máximo para la carga es de 1 minuto. Posteriormente, Astrand (1992) expresaría que el trabajo intermitente se diferencia del intervalado ya que esta última forma de entrenamiento emplea una duración para la carga de 2 a 6 minutos. En este punto, es verdad, como lo señala Bisciotti (2004) que el trabajo intervalado conocido como “método clásico de Friburgo” se basa en repeticiones sobre distancias de 200, 300 y 400 metros y éstas pueden implicar un tiempo inferior a 1 minuto (Van Aaken y Berben, 1971) pero sus objetivos son diferentes al trabajo intermitente.

Respecto a la duración de la carga este aspecto tiene importantes implicancias fisiológicas. Cuando se realiza un esfuerzo que compromete más de 1/6 o 1/7 de la musculatura corporal total (por ejemplo: correr) los sistemas cardiovascular, respiratorio, neuromuscular y metabólico participan activamente en el ejercicio. Si la duración del esfuerzo es igual o inferior a 1 minuto, el sistema cardiovascular será importante a lo largo de las repeticiones (y en las pausas) pero no dispondrá del tiempo necesario -en cada repetición, principalmente en las primeras- para sumarse al sistema neuromuscular. Podemos decir que existe “un retraso fisiológico” en la respuesta y ajuste entre los sistemas cardiovascular y neuromuscular, esto es utilizado por el ejercicio intermitente (Seiler, 2002).

Los ejercicios intermitentes ponen el acento del estrés a nivel periférico (neuromuscular, vascular y metabólico), es decir en los factores “musculares” de la resistencia. Esto es muy significativo ya que durante décadas el modelo de estudio aplicado en el campo de la fisiología del ejercicio y del entrenamiento deportivo exacerbó el papel de los factores centrales (cardíacos) por sobre los periféricos (musculares) en los rendimientos de resistencia de todas las disciplinas deportivas. Recomendando para profundizar estos aspectos la lectura de los trabajos de Richardson, 2000 y 2004.

Los aportes tempranos de Astrand (1960a; 1960b) en la temática no dejan de ser sorprendentes, el autor refería que “durante períodos cortos de trabajo con altas tasas energéticas, la provisión aeróbica resulta adecuada a pesar de un transporte incompleto de oxígeno durante la actividad de la carga. Con períodos de trabajo muy breves, en el orden de los 30 segundos o menos, se puede imponer una carga muy intensa sobre los músculos y órganos de transporte de oxígeno, sin afectar los procesos anaeróbicos que conducen a cualquier elevación significativa del lactato sanguíneo”. Bangsbo (2000a) recomienda que para estudiar el ejercicio intermitente y sus efectos, se considere particularmente la intensidad, en especial la intensidad relativa. Por ejemplo: es posible completar una hora de ejercicio con esfuerzos de 15”x15” si la intensidad es del 100% del  $\text{VO}_2\text{máx}$  o ligeramente por encima, mientras que sólo podrán completarse algunos minutos de ejercicio si la intensidad es del 70% del Pico Máximo de Potencia (PP). Un deportista de rendimiento puede ostentar un PP de 1000 W, alcanzado su  $\text{VO}_2\text{máx}$  con 250W (25% PP). En ejercicios como la carrera, el parámetro o valor de referencia que se utiliza para la intensidad es la Velocidad Aeróbica Máxima<sup>‡</sup> (VAM), las cargas de entrenamiento se proponen entre 100 y 150% de la VAM, según la orientación funcional del trabajo (ver más adelante, sección “metodología del entrenamiento”). Por el momento acordemos dos direcciones o tipos de ejercicio intermitente: 1) Intermitente “aeróbico” (ITA), 2) Intermitente de Alta Intensidad (ITAI). Ambos con diferente

---

<sup>‡</sup> Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) es la velocidad de desplazamiento con la cual se alcanza el 100% del Consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{máx}$ ).

orientación funcional y efectos de entrenamiento. En el desarrollo del texto profundizaremos estos tipos de trabajo y veremos que no debe confundirse el ITAI con los trabajos de resistencia a la velocidad.

Otra consideración de importancia es que en los esfuerzos intermitentes se aprecia una alternancia de variaciones de Intensidad, Duración, Frecuencia, Cinética<sup>§</sup> y Cinemática<sup>\*\*</sup> de las acciones musculares, esto hace que los sistemas cardiovascular y neuromuscular participen de manera específica y muy diferente al modelo fisiológico del ejercicio “continuo” o “intervalado”. Diversos trabajos han demostrado, por ejemplo, la relación entre el ciclo de contracción muscular y la función vascular en el tejido muscular implicado. El flujo sanguíneo en el músculo esquelético varía en función directa con el tipo de esfuerzo y el momento del ejercicio (inicio, parte central o pico de esfuerzo), observándose fluctuaciones del flujo sanguíneo muscular, según el tipo de trabajo mecánico, con efectos específicos en el entrenamiento (Schoemaker y col, 1994; Tschakovsky y col, 1995; Walloe y Wesche, 1988).

Otros estudios destacan cómo las características biomecánicas y fisiológicas de las contracciones musculares condicionan, regulan y modulan los efectos de entrenamiento (Bosco, 2000; Gardiner, 2001).

Principales características de los ejercicios intermitentes.

- Son esfuerzos de hasta 1 minuto de duración.
- Se realizan entre el 100% y el 150 de la VAM (velocidad aeróbica máxima).
- Su orientación puede ser: ITA (intermitente “aeróbico”) o ITAI (intermitente de alta intensidad).
- Se caracterizan por alternar variaciones de intensidad, duración, frecuencia, cinética y cinemática de las acciones musculares, provocando mayor estrés periférico (muscular) que central (cardíaco).
- La participación neuromuscular y del  $\text{VO}_2$  es sensiblemente diferente a la de los esfuerzos continuos o intervalados.

## 2. Diferencias entre el ejercicio Intermitente e Intervalado

Ambos ejercicios corresponden al grupo de los trabajos denominados “Fraccionados” ya que alternan cargas con pausas durante los esfuerzos. Si comparamos un ejercicio intermitente “aeróbico” (ITA) con un ejercicio intervalado (IN) de igual orientación funcional, podemos acordar que una de las principales diferencias se encuentra en la intensidad y duración del trabajo muscular. Como refiere Astrand (1992), en el ejercicio ITA se observa la alternancia de “explosiones” de ejercicio intenso (100% VAM o más, es decir: ejercicios máximos y supramáximos) y “breve” (menos de 1 minuto) con ejercicio más suave. Esto implica de manera diferente al  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  y acentúa los efectos de entrenamiento a nivel muscular. Mientras que en el ejercicio IN el esfuerzo se realiza con intensidades entre el umbral láctico (UL) y el  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  (es decir: ejercicios submáximos a máximos) y la duración de la carga puede llegar hasta los 5 minutos (Daniels, 1984). El modelo de entrenamiento IN con sus “pausas rendidoras” provoca fuertes adaptaciones cardiovasculares, principalmente en la fracción de eyección sistólica y el Pulso de  $\text{O}_2$  (Nöcker, Bohlau y Hartleb, 1980).

<sup>§</sup> Cinética: estudio de las fuerzas actuantes sobre los objetos o cuerpos (Watkins, 1999).

<sup>\*\*</sup> Cinemática: estudio del movimiento de los cuerpos u objetos (Watkins, 1999).

Los beneficios del ejercicio ITA dependen de la distancia total recorrida a la intensidad programada (por ejemplo, 110%VAM), ya que esto implica un número determinado de contracciones musculares realizadas con “intensidades óptimas” (Noakes, 1991 y 1990). Los efectos de entrenamiento se modelan a partir de la duración de la carga y la pausa, su intensidad y el volumen total (Daniels, 1998; Billat, 2001).

### 3. Particularidades del $\text{VO}_2$ durante el ejercicio intermitente

En los trabajos de Astrand (1960) un sujeto con un  $\text{VO}_2\text{máx}$  de 4,6 litros/min. logró trabajar en un cicloergómetro con una carga de 350 Watts alrededor de 8 minutos. Cuando la carga se redujo al 50% (175W) pudo ejercitarse 60 minutos con comodidad y el  $\text{VO}_2$  promedio durante el trabajo fue del 50%. Al mismo sujeto en otra sesión se le pidió que trabaje con 350W, pero con un régimen de 3 minutos de carga por igual tiempo de recuperación (trabajo intervalado), el evaluado logró trabajar durante una hora con dificultad, en este caso el  $\text{VO}_2$  promedio fue máximo. Posteriormente se fue reduciendo la duración de la cargas (y de las pausas) y se comprobó que el  $\text{VO}_2$  total durante la hora de trabajo no disminuía significativamente durante un trabajo de 30 segundos por igual tiempo de recuperación (trabajo intermitente). Dos puntos para destacar de estos trabajos: 1) en forma continua el sujeto sólo podía realizar 8 minutos de ejercicio con 350W, mientras que de manera intervalada e intermitente lograba 30 minutos con 350W y 2) cuando las cargas fueron superiores a 1 minuto el estrés resultó muy elevado, principalmente a nivel metabólico incrementando los valores de ácido láctico. Mientras que empleando trabajo intermitente, con cargas de 30 segundos por igual tiempo de recuperación se lograba un efecto similar sobre el  $\text{VO}_2$  al del trabajo intervalado.

Si una persona corre a una velocidad que le representa el 100% del  $\text{VO}_2$  (VAM) de manera continua solo podrá sostener ese esfuerzo entre 4 a 11 minutos, este tiempo es denominado Tiempo límite a Velocidad Aeróbica Máxima (T.Lím.VAM). En tanto que si realiza esfuerzos intermitentes (por ejemplo: 15" x 15") podrá desarrollar un trabajo 60 o 70 minutos sin inconvenientes, con similares observaciones a las realizadas anteriormente sobre el trabajo de Astrand. Los esfuerzos de resistencia requeridos por los deportes de conjunto (“deportes intermitentes” como el fútbol, básquet, hockey, handbol, rugby, etc.) implican el desarrollo de esta capacidad: *la resistencia intermitente*.

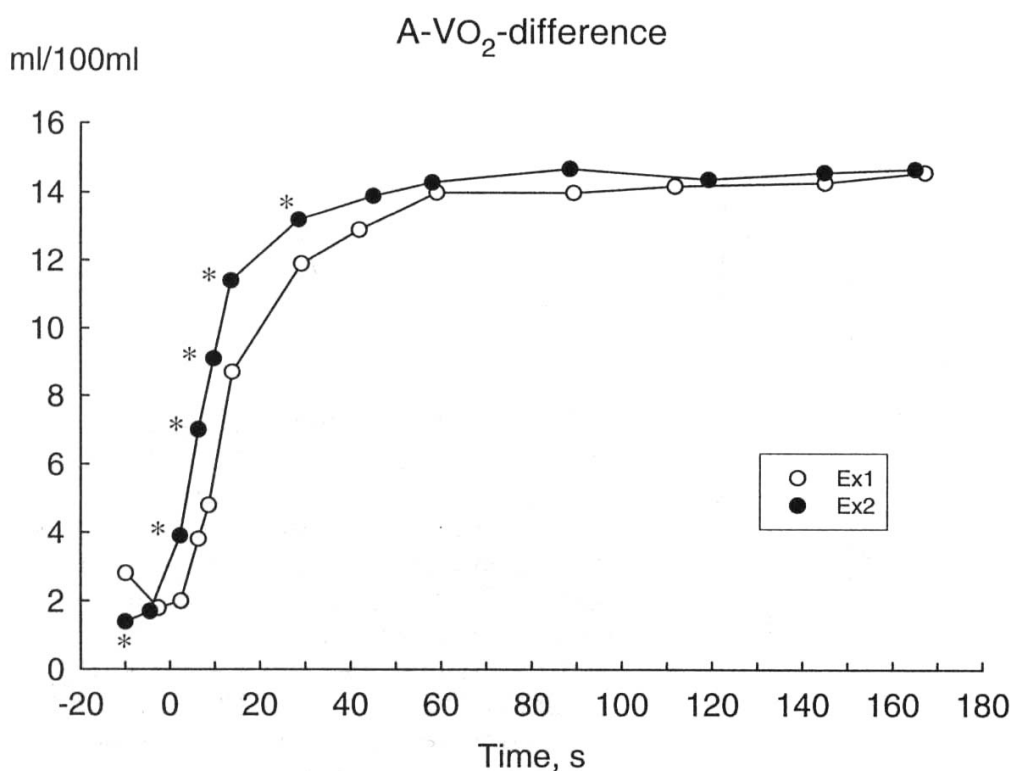
### Cinética del $\text{VO}_2$ muscular

*Se denomina cinética del  $\text{VO}_2$  muscular al tiempo que necesita el músculo esquelético para aumentar la captación de  $\text{O}_2$  y acompañar el incremento de la potencia mecánica del esfuerzo.*

Al comienzo del ejercicio, la respuesta integrada de los sistemas pulmonar, cardiovascular y muscular caracteriza la cinética del  $\text{VO}_2$ . Esta respuesta es altamente sensible al entrenamiento aeróbico (Phillips y col, 1995) y puede ser medida con precisión (Grassi y col, 1996). El rol que cada uno de estos sistemas juega para determinar la cinética del  $\text{VO}_2$  en esfuerzo es tema de debate (Cerretelli y col, 1980; Hughson y col, 1996). Una gran variedad de estudios se ocuparon del tema, empleando diferentes modalidades de ejercicios, incluso modelos animales (Grassi y col, 1998a y 1998b), esta diversidad de trabajos requiere de un análisis muy cuidadoso de la temática.

Algunos estudios demostraron que el incremento del flujo sanguíneo en los miembros inferiores (y su aporte de  $O_2$ ) contribuía al aumento del  $VO_2$  durante ejercicios de moderada intensidad (Bell, 2001; MacDonald, 1998 y 2000; Shoemaker, 1994).

Bangsbo y col. (2000) estudiaron la cinética del  $VO_2$  muscular al inicio de un ejercicio dinámico intenso. Los autores demostraron que las contracciones musculares intensas luego de unos 12 segundos de ejercicio incrementaban la captación de  $O_2$  muscular un 50% y después de 50 segundos lograba un pico de extracción de  $O_2$  del 90%. La utilización de  $O_2$  “limitada” al inicio del ejercicio intenso no parece estar relacionada con una insuficiente disponibilidad de  $O_2$ , sí puede responder a una inadecuada distribución del flujo sanguíneo en los músculos activos y así limitar la extracción de  $O_2$  a nivel celular.



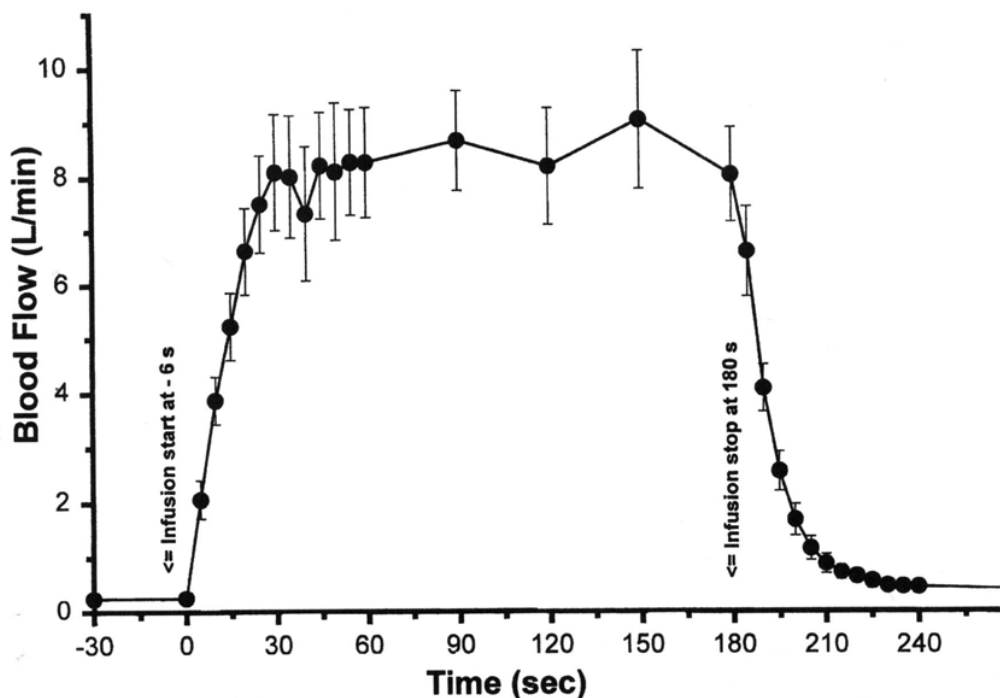
**Figura 1.** Extracción muscular de  $O_2$  durante ejercicios intensos (Bangsbo, 2000).

### Flujo sanguíneo muscular

Diversos estudios, en preparados musculares aislados, se ocuparon de analizar el pico de perfusión sanguínea (PPS) y el pico de extracción de  $O_2$  muscular ( $PEO_2$ ), los valores encontrados fueron de 50-60ml/100g/min, y 80-100ml/100g/min, respectivamente. Posteriormente, otros investigadores, en estudios sobre músculos humanos intactos, encontraron que el PPS es de 150-300ml/g/min, y el  $PEO_2$  de 240-500ml/g/min (Andersen y Saltin, 1985; Richardson, 1993; Laughlin, 1996). Estos valores demuestran el potencial significativo del músculo esquelético para provocar cambios vasculares, con importantes implicancias metabólicas, durante el ejercicio.

Los cambios del flujo sanguíneo muscular durante el ejercicio son estudiados bajo un modelo “bifásico” (Hughson, 1997; Shoemaker, 1996 y 1997) el cual presenta una fase inicial de “rápida” respuesta, seguida por una segunda fase “más lenta” que comienza luego de 15 a 20 segundos en la que predomina el “feed-back”.

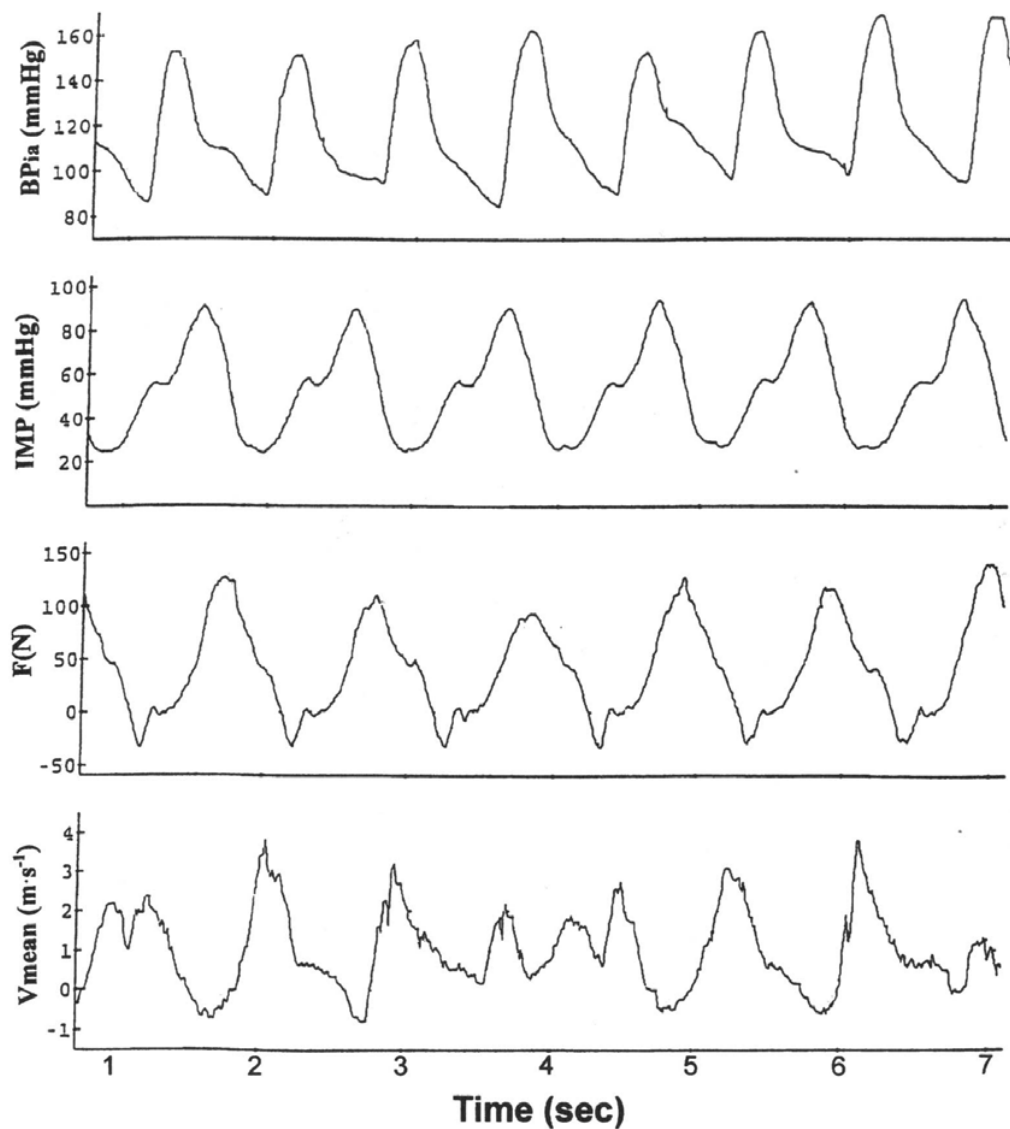
Kurjiaka y Segal (1995) señalan que el responsable inicial del incremento del flujo sanguíneo muscular durante el ejercicio es la Acetilcolina (Ach), considerada por los investigadores el verdadero enlace (link) entre la activación neuro-motriz del músculo y la hiperemia (gran concentración de sangre). Otro elemento importante es la adenosina, esta molécula se incrementa significativamente durante las contracciones musculares intensas. En la figura 1 (Radegran y Calbet, 1999) los autores (con técnica de ultrasonido Doppler) evaluaron el incremento del flujo sanguíneo en función del tiempo, luego de una infusión de adenosina (6 segundos antes del ejercicio) y de una infusión inhibidora a los 180 segundos. La infusión de adenosina incrementó el flujo 30% más sobre el efecto propio del ejercicio.



**Figura 2.** Efecto de la Adenosina sobre el cambio del flujo sanguíneo arterial femoral en función del tiempo (Radegran y Calbet, 1999).

El flujo sanguíneo muscular varía en función directa con el tipo de esfuerzo y el momento del mismo. La variación de la velocidad y el rápido incremento del flujo sanguíneo al inicio del ejercicio están relacionados con el ciclo de contracción muscular. La figura 3 demuestra el comportamiento de diferentes variables durante el ciclo de contracción muscular, estudiado en el ejercicio dinámico de extensores de rodilla. La velocidad y el flujo sanguíneo sufren variaciones durante las fases de contracción y relajación muscular del ejercicio (Radegran y Saltin, 1998).

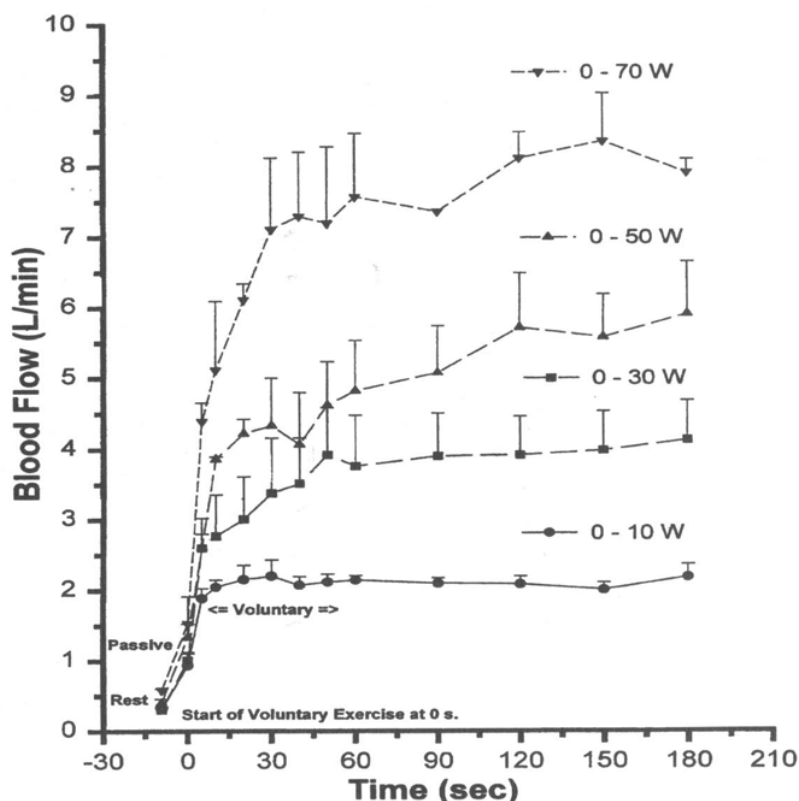
La figura 3 demuestra cuatro variables analizadas, la primera (plano superior) es la presión sanguínea intraarterial (BPia), la segunda es la presión intramuscular (IMP), la tercera es la fuerza (F) expresada en Newton y la última es la velocidad media del flujo sanguíneo. Obsérvese cómo esta última es la que presenta más variaciones con relación a las demás. Otro aspecto que quiero destacar de la figura es la relación entre el Pico de F con las demás variables, como es lógico coincide con el Pico de IMP y precede al Pico de velocidad del flujo sanguíneo.



**Figura 3.** Variaciones del flujo sanguíneo arterial femoral y contracción muscular (Radegran y Saltin, 1998).

(Muchos trabajos en esta temática emplean el ejercicio de extensiones dinámicas de rodilla como “modelo de estudio fisiológico”, descrito y publicado por Andersen y col, 1985a).

Los mismos investigadores midieron el flujo arterial y estimaron el tiempo para el aumento del flujo según diferentes tasas o intensidades de trabajo (Radegran y Saltin, 1998). La figura 4 demuestra cómo cargas muy ligeras alcanzan la mitad del valor pico del flujo sanguíneo en menos de 5 segundos, mientras que cargas más pesadas, próximas al pico de potencia, requieren de  $\leq 10$  segundos.



**Figura 4.** Medición del flujo sanguíneo arterial femoral en reposo, con movilización pasiva y durante ejercicio con distintas intensidades (Radegran y Saltin, 1998).

Existe “un acoplamiento fisiológico” entre el flujo sanguíneo y el trabajo mecánico con la captación de  $O_2$  muscular, de características similares al que existe entre el Volumen Minuto Cardíaco (VMC) y la captación de  $O_2$  a nivel sistémico (por cada 5 litros de sangre/ 1 litro de  $O_2$  captado/ minuto), en tanto que en un ejercicio realizado con los extensores de rodilla, por cada 7 litros de sangre/1 litro de  $O_2$  captado por minuto (Andersen y Saltin, 1985), estos valores varían en función de la masa muscular implicada y, por supuesto de su estatus de entrenamiento.

Se ha sugerido que durante ejercicios intensos la entrega de  $O_2$  puede limitar la cinética de captación muscular, los estudios al respecto son escasos. Recientemente, Paterson y col. (2005) estudiaron el tiempo de incremento del flujo sanguíneo (arterial femoral)



relacionado con el  $\text{VO}_2$  durante un ejercicio de alta intensidad y encontraron que la fase “lenta” (2º) del  $\text{VO}_2$  fue acompañada por un incremento sostenido del flujo sanguíneo en las piernas con un consecuente incremento del aporte de  $\text{O}_2$  en respuesta a la mayor demanda. Estos datos inducen a pensar que existen elementos a nivel muscular con alto potencial regulatorio.

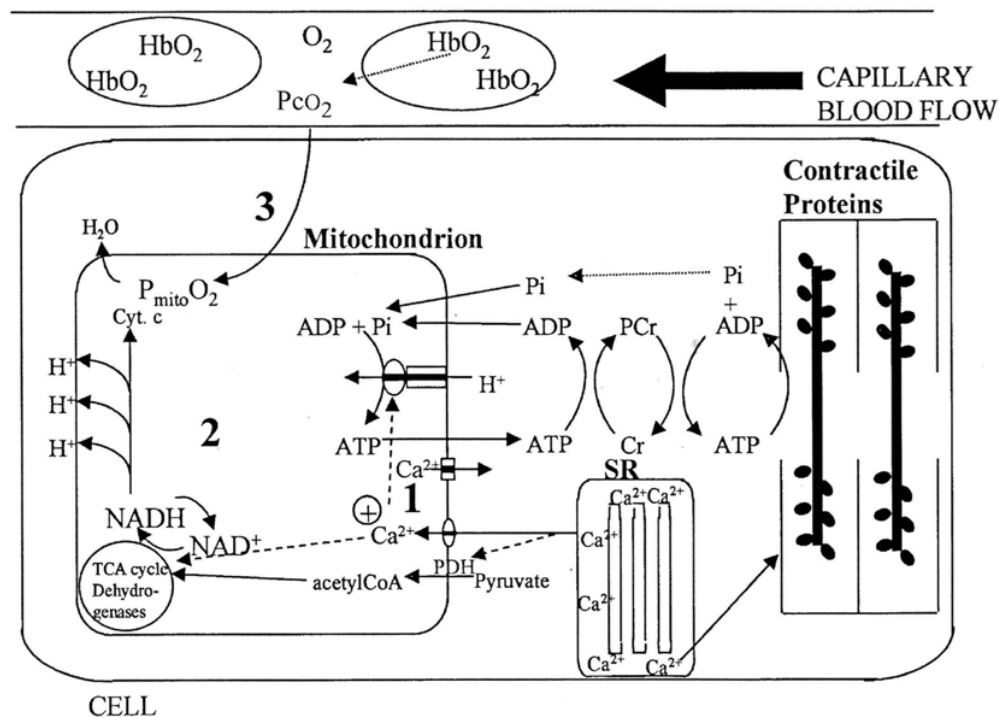
Estudios previos de Tordi y col (2003) analizaron la influencia que tenía sobre la cinética del  $\text{VO}_2$  la alternancia de ejercicios de alta intensidad ( $>85\%\text{VO}_{2\text{máx}}$ ) con aceleraciones y sprints. Los investigadores demostraron que la cinética del  $\text{VO}_2$  era más rápida en este tipo de ejercicios. Este tipo de ejercicio claramente se corresponde con el de “los deportes intermitentes”.

Krustrup y col (2004) estudiaron los efectos del entrenamiento intermitente sobre una pierna (Pe) en tanto que la otra fue control (Pc). La intensidad utilizada fue del  $150\%\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Luego de 7 semanas de entrenamiento se evaluaron los efectos con tests de distintas intensidades (10, 30 y 50 W respectivamente) Los resultados demostraron que este tipo de entrenamiento provoca incremento en el rendimiento para ejercicios de alta intensidad (30 a 50 W) en tanto que para baja intensidad (10W) no se observaron mejoras significativas.

### **Otros factores relacionados**

Los estudios realizados sobre la dinámica del  $\text{O}_2$  muscular confirmaron que la velocidad para incrementar la fosforilación oxidativa es limitada por los mecanismos adaptativos de transporte y utilización de  $\text{O}_2$  muscular.

Diferentes factores interactúan determinando la captación de  $\text{O}_2$  muscular. La velocidad de la adaptación (ajuste) del músculo esquelético al inicio del ejercicio está limitada por: a) factores intrínsecos celulares (activación de señales metabólicas o enzimas) y b) disponibilidad de  $\text{O}_2$  para la mitocondria (determinada por mecanismos extrínsecos convectivos y difusivos del  $\text{O}_2$ ). La evidencia bioquímica indica que la velocidad respiratoria celular está relacionada con el potencial fosforilativo, el potencial redox y la presión celular de  $\text{O}_2$  mitocondrial ( $\text{PmitoO}_2$ ). Los dos primeros son determinados por los factores intrínsecos celulares, en tanto la  $\text{PmitoO}_2$  está determinada por mecanismos extrínsecos convectivos y difusivos del  $\text{O}_2$ . Dentro de un determinado rango de esfuerzo, la  $\text{PmitoO}_2$  puede regular o modular el metabolismo muscular, equilibrando el uso de ATP con su resíntesis mitocondrial y el consumo de  $\text{O}_2$  (Tschakovsky y Hughson, 1999).



Tschakovsky, M. E. et al. J Appl Physiol 86: 1101-1113 1999

**Figura 5.** Factores “locales” que interactúan determinando la cinética del  $\text{VO}_2$  muscular.

La figura 5 muestra los factores locales (musculares) que interactúan para determinar la cinética de  $\text{VO}_2$ , ellos son: a- los niveles de  $\text{Ca}^{2+}$  en la matriz mitocondrial, activadores de la deshidrogenasa y de la ATP sintetasa, afectando la resistencia mitocondrial y el potencial redox; b- la tasa ATP/ADP y de NAD/NADH aportando electrones a la cadena respiratoria (sistema de transporte de electrones), ese flujo de electrones modula la tasa respiratoria; c- la presión mitocondrial de  $\text{O}_2$  ( $P_{\text{mitoO}_2}$ ) que interactúa con la tasa de ATP/ADP, NAD/NADH y Pi para determinar el flujo del trabajo de la cadena respiratoria y los efectos sobre la resistencia mitocondrial. La  $P_{\text{mitoO}_2}$  es dependiente del equilibrio entre el  $\text{VO}_2$  y el flujo de  $\text{O}_2$  hacia dentro de la célula (producto de la presión capilar de  $\text{O}_2$ ,  $P_{\text{cO}_2}$ ), el cual varía dependiendo del flujo sanguíneo local capilar y de la afinidad de la Hb por el  $\text{O}_2$  (Tschakovsky y Hughson, 1999).

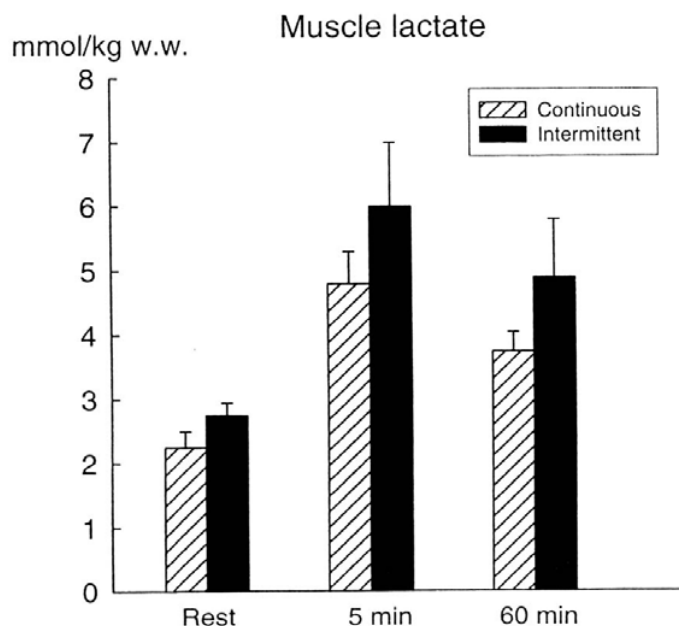
Estos “factores locales” son afectados sensiblemente por el ejercicio intermitente. Por ejemplo: el incremento del  $\text{Ca}^{2+}$  intramuscular responde directamente a la intensidad del ejercicio. La tasa ATP/ADP se ajusta a las súbitas y repetidas demandas en función de la potencia del ejercicio.

Además, durante ejercicios con intensidades por encima del 100% VAM, el reclutamiento de fibras musculares se centra específicamente en las FT. El ejercicio con estas intensidades provoca ligeras (y temporarias) modificaciones en el pH, un importante incremento de la temperatura sanguínea y del  $\text{CO}_2$ , la consecuencia es un desplazamiento hacia la derecha de la curva de disociación de  $\text{O}_2$ , incrementando la descarga de  $\text{O}_2$  (efecto Bohr) (Krustrup, 2004).

Algunos estudios indican que la cinética del  $\text{VO}_2$  a nivel muscular está determinada por factores intramusculares metabólicos como la tasa de depleción de la fosfocreatina (Barstow, 1994; McCreary, 1996; Rossiter, 1999). No son pocas las referencias científicas que relacionan a la Fosfocreatina con el rendimiento en esfuerzos intensos e intermitentes. Billat (2002) introduce el concepto de “umbral de fosfocreatina” (UPC) cuando analiza ejercicios entre 50 y 125% del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Se denomina UPC a la intensidad de ejercicio en la cual la totalidad de la fosfocreatina almacena se halla en depleción muscular. El UPC se ubica por encima del 80% $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Billat, además, relaciona íntimamente la potencia muscular con la capacidad para movilizar y resintetizar PC. En tanto que Bishop (2002) condiciona la capacidad para repetir aceleraciones con la capacidad buffer, los cambios del pH y la resíntesis de PC.

### 3. Utilización de sustratos durante el ejercicio intermitente

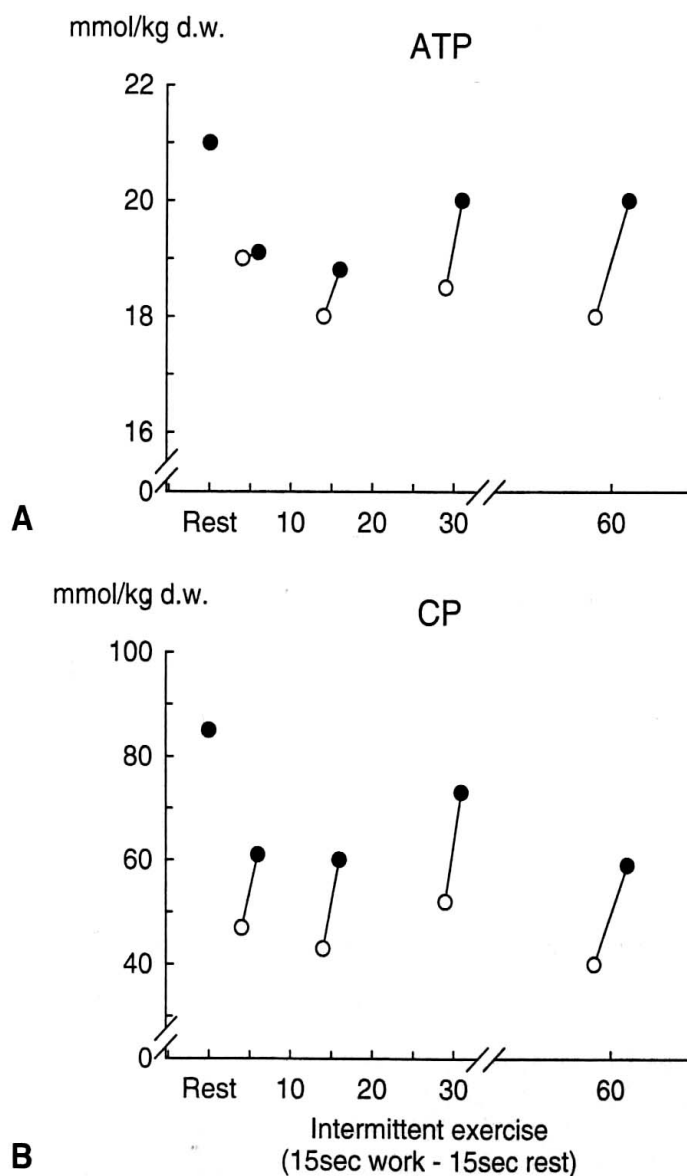
Essén y col. (1977) realizaron uno de los trabajos científicos más interesantes relacionado con esta temática. Los investigadores estudiaron y compararon las respuestas metabólicas de 5 sujetos a dos protocolos de ejercicio en cicloergómetro: uno continuo (con 157 W) de 60 minutos de duración y otro intermitente (15 x 15 segundos, con 299W) ambos con un promedio de  $\text{VO}_2$  similar. Los resultados obtenidos indicaron que la proporción de energía derivada de carbohidratos y grasas fue similar en ambos tipos de ejercicio (continuo e intermitente). *A priori* podría suponerse que esto no es así ya que la intensidad relativa es más elevada en el ejercicio intermitente y ello puede significar una mayor participación glucogenolítica.



**Figura 6.** Concentraciones de Lactato durante ejercicio continuo e intermitente (Essén, 1978).

En la figura 6, se observan los valores de lactato durante ambos ejercicios, sin apreciarse diferencias significativas, excepto que en el ejercicio intermitente se observó una mayor liberación de lactato desde el músculo (en las pausas). Los valores de ATP y CP (Figura 7) durante el ejercicio intermitente presentan mayores fluctuaciones que durante el ejercicio continuo. Las concentraciones de PC disminuyeron a un valor del

40% de los niveles de reposo, a los 5 minutos de ejercicio y luego de la pausa alcanzaron un 70% de los valores de reposo. El comportamiento fue similar a lo largo de los 60 minutos de ejercicio intermitente.

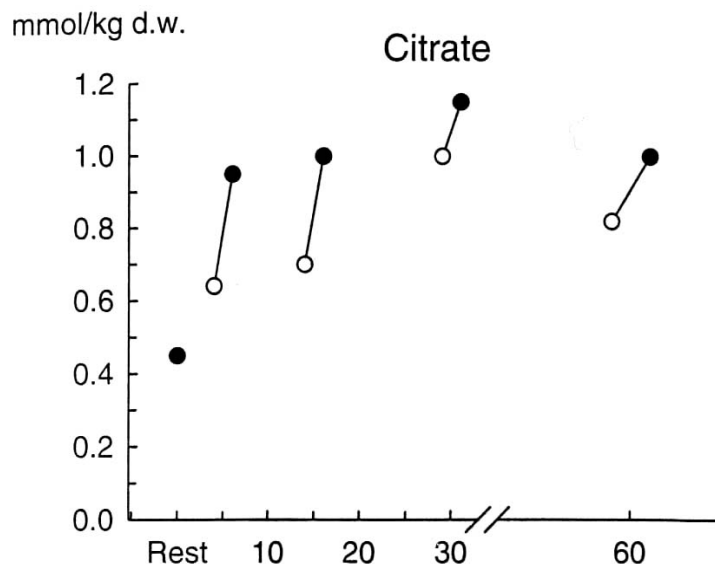


**Figura 7.** Concentraciones de ATP y CP durante un ejercicio intermitente (Essén, 1978). El círculo relleno es el valor al terminar la carga, el círculo vacío es el valor al terminar la pausa.

Este estudio demostró una tasa glucolítica menor y una mayor contribución de grasas en el ejercicio intermitente con relación al continuo. En cada período de trabajo la hidrólisis del ATP y las concentraciones de ADP y AMP aumentaron, acelerando la glucólisis y el ciclo de Krebs. Al finalizar las cargas y en el inicio de las pausas, las concentraciones de ADP y AMP eran muy altas pero rápidamente se restituía el ATP. El citrato se acumulaba y pasaba a través de la membrana mitocondrial al citoplasma

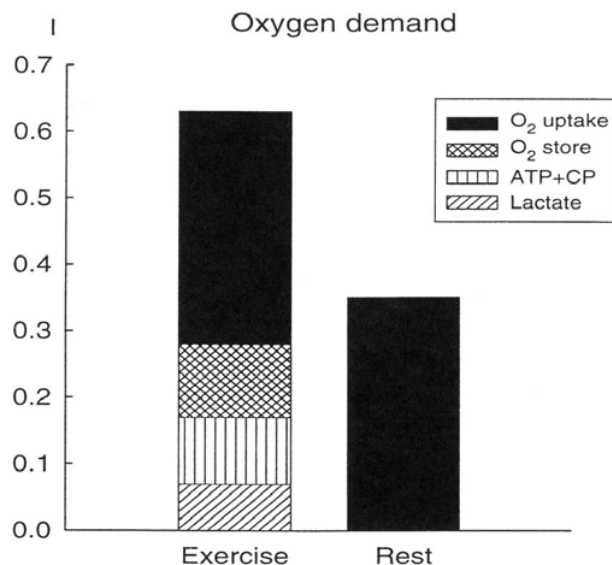
celular, de esta manera se inhibía la glucólisis, facilitándose la utilización de lípidos para los procesos aeróbicos (Ver figura 8). Los niveles intramusculares más elevados de citrato se encontraron principalmente al final de la pausa, no obstante luego de 8 minutos de ejercicio intermitente, los valores de citrato musculares al finalizar las cargas se encontraban más elevados que al inicio del ejercicio y se mantenían durante todo el trabajo.

El efecto inhibitor del citrato sobre la glucólisis NO ESTÁ EN DISCUSIÓN pero que este mecanismo sea el predominante durante un ejercicio intermitente NO ESTÁ DEL TODO CLARO. Peters y col (1995) ponen en duda la potencialidad del citrato para inhibir la glucólisis a lo largo de un trabajo intermitente intenso ya que le asigna a este mecanismo un rango de tiempo reducido. Además, Bangsbo (1994 y 2000) destaca que no está bien definido cuál es el mecanismo que reduce la tasa glucolítica durante un ejercicio intenso e intermitente.



**Figura 8.** Ejercicio Intermitente (15 x 15 segundos) y comportamiento del Citrato intramuscular (Essén, 1978).

En la figura 9, se observa la contribución de fuentes de energía aeróbica y anaeróbica durante el ejercicio intermitente y la pausa, los valores están calculados para un sujeto que se ejercita con una masa muscular activa de 11 Kg. Obsérvese durante la carga el importante aporte porcentual energético que proviene del O<sub>2</sub> (captado por el músculo y de los depósitos mioglobínicos), mientras que el aporte glucolítico (lactato) es muy reducido. Durante la pausa la captación de O<sub>2</sub> es dueña absoluta del aporte.

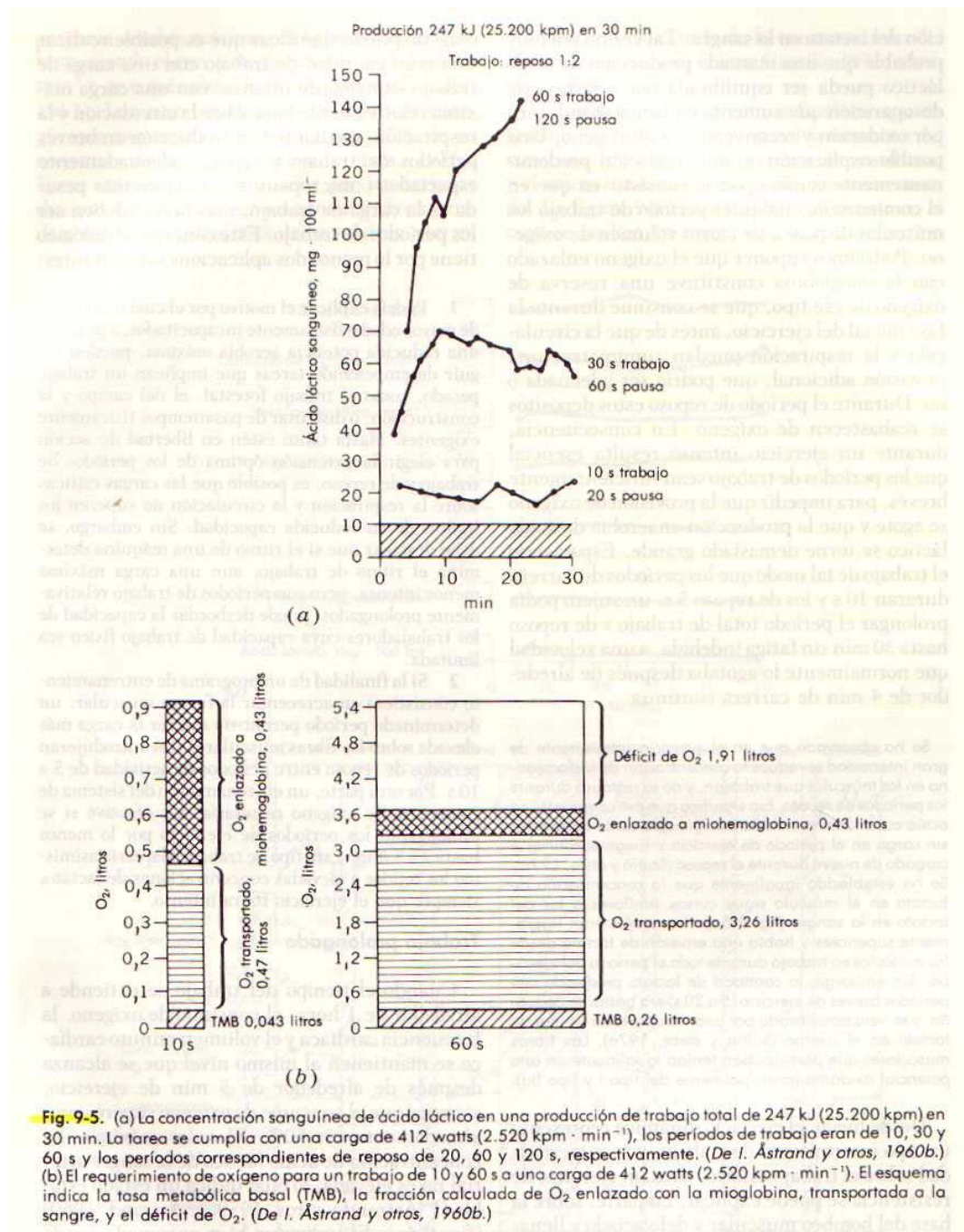


**Figura 9.** Contribución energética durante el ejercicio intermitente (15 x 15 segundos) (Essén, 1978).

#### 4. Otros aspectos fisiológicos importantes

##### O<sub>2</sub> mioglobínico

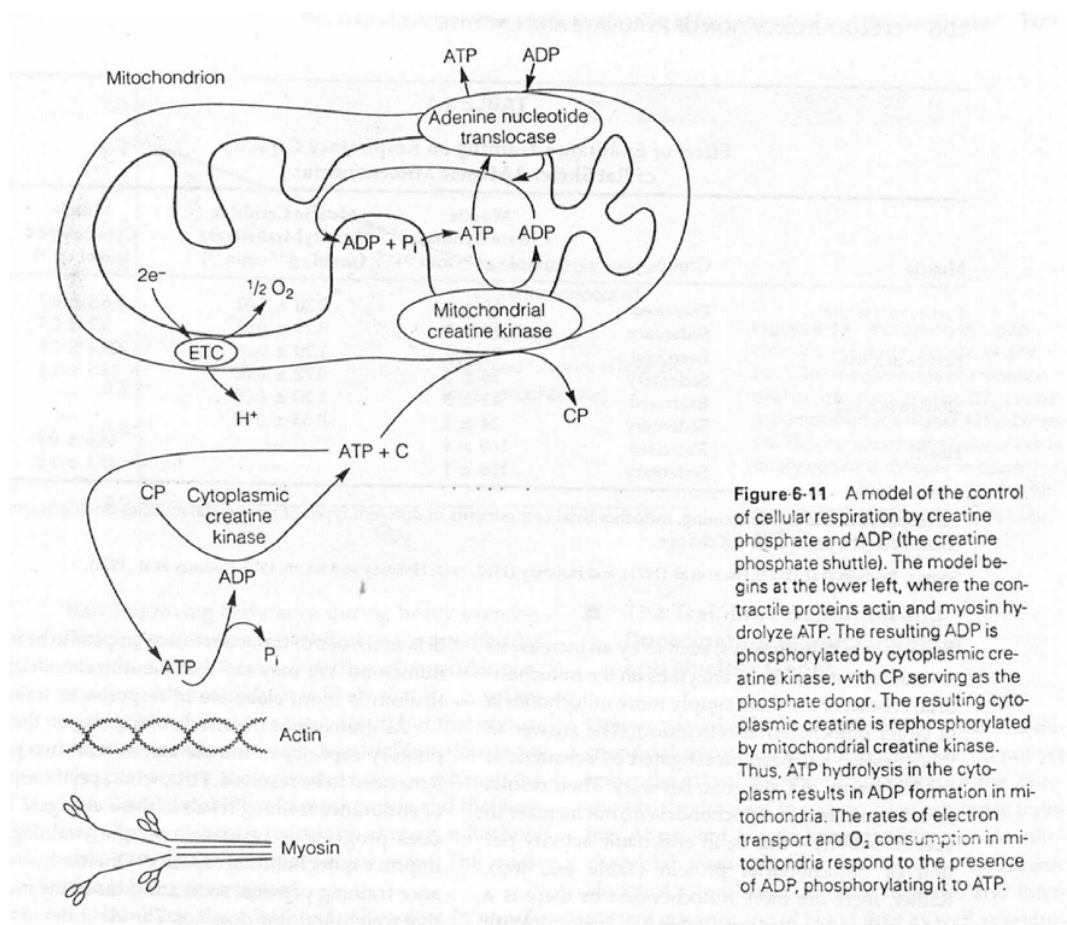
Los trabajos clásicos de Astrand y col. (1960) sentaron las bases para el estudio de la fisiología del ejercicio intermitente en muchos aspectos. En la figura 10, (A) un sujeto trabajó con 412 W en un cicloergómetro. Si la carga era realizada de manera continua solamente toleraba 3 minutos, en cambio haciéndolo de manera intermitente 1' x 1' fue capaz de trabajar 24 minutos hasta el agotamiento. Si el ejercicio era realizado con cargas de 30" x 60" o 10" x 20" el tiempo total alcanzado llegaba a 30 minutos. Se puede observar en la figura el comportamiento de la lactacidemia para cada carga. Es llamativo destacar cómo las cargas de 10" x 20" provocaban una lactacidemia muy ligera pero importantes efectos sobre el sistema de transporte de O<sub>2</sub> y sobre la potencia mecánica muscular. En el panel B de la figura se observa un dato por demás de relevante, en la carga de 10"x20" la provisión aeróbica de energía cuenta con un gran aporte (tanto del O<sub>2</sub> transportado por la sangre como del depósito de O<sub>2</sub> mioglobínico muscular) Es precisamente el O<sub>2</sub> mioglobínico un gran protagonista de los ejercicios intensos, de corta duración.



**Figura 10.** (A) Valores de lactacidemia durante un ejercicio intermitente con cargas de diferente duración. (B) Aporte de O<sub>2</sub> durante el ejercicio intermitente (Åstrand, 1960).

### Mecanismo “Shuttle” de Fosfocreatina (PC)

En un interesante artículo Verchoshanskij (1992) se refería a la importancia de la fosfocreatina como un “vector universal”, responsable de transportar energía desde sus sitios de producción (mitocondria) hasta los de utilización (sarcómeros musculares). Brooks (2005) destaca a la fosfocreatina como un verdadero “link” entre el citoplasma celular y la mitocondria. La hidrólisis inmediata de ATP en el citoplasma escinde a la PC y la Creatina libre debe ser rápidamente fosforilada por el “retículo mitocondrial” para resintetizar PC. La figura 11 describe este fenómeno conocido como “Shuttle de PC”.



**Figura 11.** Shuttle de PC (Brooks, 2005).

## 5. Metodología del entrenamiento de la resistencia intermitente

Los orígenes del estudio de la Resistencia se basaron en un amplio volumen de investigaciones desarrolladas en el campo de la Cardiología (Reindell y Roskamm, 1959 y 1963; Hollmann, 1963; Nöcker, 1958) y del Metabolismo (Margaria, 1964 y 1965; Christensen, Hedman y Saltin, 1960). Centrando el foco de atención en el sistema cardiovascular y en el metabolismo muscular. Así, los componentes musculares de la



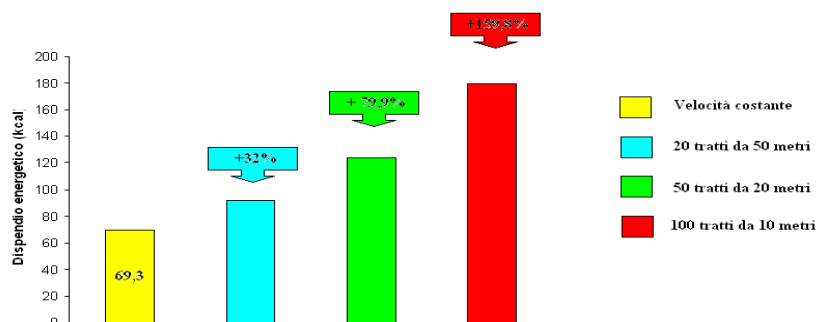
Resistencia fueron omitidos o subordinados a los mencionados. Esta tendencia se mantuvo durante décadas.

### Conceptos preliminares

En los textos especializados en entrenamiento deportivo pueden encontrarse alrededor de treinta o más definiciones acerca de la “Resistencia”, la gran mayoría relacionada con la capacidad para oponerse a la fatiga, o para realizar esfuerzos de duración prolongada. En el ámbito del Deporte, la Resistencia no existe como un objetivo en sí misma sino que forma parte del objetivo deportivo, es decir del rendimiento buscado por ese deporte (Martín y col, 2001). En los deportes de conjunto, por ejemplo, la resistencia está relacionada con la capacidad para repetir aceleraciones y desaceleraciones durante el juego (Reilly y col, 1994; Bangsbo y Lindquist, 1992) y con el desarrollo de otras acciones musculares repetitivas como cambios rápidos de dirección, detenciones bruscas, intervalos irregulares de esfuerzos intensos, combinaciones de saltos, lanzamientos y carreras, etc.

El entrenamiento de la resistencia en el deporte debe guardar correspondencia con la estructura del rendimiento deportivo (Neumann, 1989), es preciso considerar la especificidad y particularidad del modelo de rendimiento y no asumir un modelo “universal” para el entrenamiento de la resistencia como ha ocurrido durante décadas. Los rendimientos de resistencia, como cualquier otro rendimiento corporal, son el resultado de la utilización coordinada de la fuerza muscular (Martín y col, 2001). Verchoshanskij (1992) expresa que la resistencia está determinada no sólo y no tanto por la cantidad de  $O_2$  que llega al músculo sino por la adaptación de este a una actividad intensa y prolongada. De este modo queda claro que los factores musculares de la resistencia son esencialmente condicionantes.

En los deportes de conjunto, la carrera implica mayores fases de aceleración y desaceleración comparada con otras disciplinas en las cuales las carreras son lineales o bien la frecuencia e intensidad de las acciones mencionadas son menores. Las carreras “intermitentes” de los deportes de conjunto conllevan un mayor gasto energético (ver gráfico 1). La cinética y cinemática de las acciones musculares es siempre cambiante (por la diversidad de situaciones) y esto implica efectos neuromusculares y metabólicos también diferentes (Bisciotti, 2000).



**Gráfico 1.** Aspecti bioenergetici della corsa frazionata. Gian Nicola Bisciotti, 2000.

Un sujeto de 77 Kg., en el gráfico 1, corrió a 5m/seg. Recorrió 1 Km. en forma lineal y continuo, el costo energético fue de 69,3 Kcal. Mientras que la misma distancia a igual velocidad de carrera pero realizada en 20 repeticiones de 50 metros implicó un gasto energético 32% mayor que el caso anterior. Realizando luego la misma distancia total y a igual velocidad pero en 50 repeticiones de 20 metros, el costo energético fue 79,9% mayor que el primer caso. Finalmente, cuando la distancia total se realizó en 100 repeticiones de 10 metros, el gasto energético fue 159,8% mayor que en el primer caso.

**El incremento del número de partidas y detenciones en una distancia determinada implica un significativo aumento del trabajo muscular, reflejado en mayor costo energético y también en mayor estrés neuromuscular. Es evidente que la carrera intermitente requiere la acción sinérgica de la fuerza especial\* del deportista.**

Al referirse a los beneficios del entrenamiento intermitente, diversos autores (Noakes, 1999; Daniels, 1998; Billat, 2001) destacan que éstos dependen de la distancia total recorrida a la intensidad programada, por ejemplo 110%VAM, ya que ello se relaciona con el número de contracciones musculares realizadas con intensidades “óptimas” (Asumo que el concepto de intensidad “óptima” se relaciona con la intensidad específica y predominante en el deporte). Verchoshanskij (1992) mencionó que el criterio principal que sostiene al entrenamiento de la resistencia en el deporte no debe ser el  $\text{VO}_2\text{máx}$  sino las modificaciones morfofuncionales a nivel celular en el músculo esquelético. Otros autores (Kindermann, Neumann, 1974 y 1985) expresaron que aunque el  $\text{VO}_2\text{máx}$  es el criterio más empleado para evaluar el rendimiento de resistencia aeróbica en el deporte, es insuficiente ya que sobreestima el componente cardio-respiratorio y subestima el aspecto metabólico muscular y las variaciones de la contractilidad mecánica.

En un interesante trabajo, Bisciotti (2000), (ver Tabla 1) observó las respuestas de distintos parámetros de esfuerzo (frecuencia cardiaca, ácido láctico y otros) en carreras desarrolladas entre el 90 y el 100% de VAM, siguiendo dos modelos diferentes, una forma lineal de carrera y otra intermitente. En esta última el autor observó diferencias significativas con respecto al ácido láctico mientras que la frecuencia cardiaca era menor en ambas intensidades. La carrera IT demostró mayor acento en los aspectos periféricos (musculares), la FC como parámetro central no resulta un buen indicador del esfuerzo. El autor destaca la importancia del entrenamiento muscular (fuerza especial) por su acción sinérgica en el rendimiento IT.

	Carrera en Línea			Carrera IT		
INTENSIDAD	T	FC	AL	T	FC	AL
90%VAM	420 s	177	8,7	73	172	12,6
100%VAM	324 s	182	10,5	47,5	164	14,0

**Tabla 1.** T= tiempo máximo sostenido a esa intensidad (en segundos); FC= frecuencia cardiaca (latidos/minuto); AL= ácido láctico (mMol/L). (Bisciotti, 2000)

\* Fuerza Especial, denominamos así a la dirección de fuerza específica y predominante en el deporte.

### **Diseño y Organización de las cargas de entrenamiento**

Diversas publicaciones referidas al tema del entrenamiento intermitente recomiendan criterios más o menos estandarizados respecto al desarrollo, aplicación y organización de las cargas. (Colli, Introini y Bosco, 1997; Impellizzeri, Arcelli y LaTorre, 2001) *En este aspecto quiero proponer criterios para el diseño de las cargas de entrenamiento que surgen de la reflexión y el análisis de algunos aspectos específicos de los deportes.* En la misma dirección que Bangsbo y su equipo de investigadores, me inclino por estudiar las demandas fisiológicas específicas de cada deporte y con esos elementos particulares diseñar las cargas de entrenamiento. Para el entrenamiento de la resistencia intermitente, inicialmente tomaremos dos aspectos básicos: a) la distancia total recorrida en el partido y b) la distancia recorrida a “alta intensidad” (Bangsbo incluye aquí las carreras que superan los 15km/h).

Estos dos aspectos serán muy útiles para definir el volumen de entrenamiento. (Recomiendo al lector a los trabajos de Carling, Williams y Reilly, 2005 y Antivero, 2006, a efectos de profundizar estos aspectos).

La confección y diseño de la carga para el entrenamiento intermitente implica los siguientes pasos:

- 1- Determinación de la VAM;
- 2- Definir la orientación funcional de la carga;
- 3- Determinar el Volumen total;
- 4- Establecer la Duración de las cargas y de las pausas;
- 5- Definir la Intensidad de las cargas;
- 6- Establecer el Tipo de pausa.

#### ***1º) Determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) en campo***

Existen diversos tests de campo que permiten valorar la “velocidad aeróbica máxima” (VAM). Un test es un procedimiento protocolizado y científicamente validado, es decir, reúne criterios de objetividad<sup>††</sup> que lo convierte en un instrumento (método) científico de valoración. El test que elijamos deberá reunir estos criterios (Casas, 2005).

Es importante además que el test contemple la especificidad de los deportes acíclicos, por lo tanto las pruebas que se basan en carreras lineales y prolongadas para determinar la VAM no son apropiadas para estos deportistas (sí pueden serlo para atletas o corredores de disciplinas cíclicas).

En la literatura científica se cita el uso (principalmente) de dos test que reúnen los requisitos mencionados para determinar la VAM:

- a- El test de Léger (Naveta con estadios de 1 minuto) (Bisciotti, 2002; Billat, 2002).
- b- El test de Bangsbo (Yo-Yo test y sus variantes) (Bangsbo, 1994; Svensson y Drust, 2005).

---

<sup>††</sup> Los criterios de Objetividad son: Validez, Confiabilidad y Reproducibilidad.

- c- Otros tests citados en la bibliografía son más adecuados para deportistas de disciplinas cíclicas (por ejemplo, el test de Brue, el test de Chanon o CAT, etc.).

Los test mencionados (Léger y Yo-Yo) son de carácter progresivo o incremental. Cuando se aplica un test progresivo para determinar la VAM es posible que ésta sea sobreestimada, ya que el evaluado puede alcanzar su  $\text{VO}_2\text{máx}$  y continuar una etapa más en la prueba, recurriendo predominantemente al metabolismo glucolítico láctico. En estos casos, es recomendable constatar la VAM a través de una prueba complementaria denominada “Tiempo Límite VAM” (Billat, 2002).

A continuación, describiré el Test de Léger. Personalmente, me inclino por su uso para determinar la VAM. Para el Yo-Yo test y sus variantes, el lector podrá remitirse a: Krustup y Bangsbo, 2001 y 2003; Mohr, 2003.

### Test de Léger

Existen diversas variantes de este test, me referiré a la prueba de carrera progresiva sobre 20 metros con estadios de 1 minuto (Léger y Lambert, 1982; Léger y cols. 1988). Se demarcan dos líneas enfrentadas, paralelas y distantes entre sí 20 metros. La superficie o terreno elegido no debe ser resbaladiza.

El evaluado deberá partir desde una de las líneas hacia la otra, pisarla y volver, a una velocidad inicial de 8,5 Km. /h, el ritmo es indicado por una señal sonora o “bip” reproducida por un CD. Cada 1 minuto la velocidad se incrementa en 0,5 Km. /h (ver tabla Léger) cada período es denominado “estadio”. La carrera no debe interrumpirse y el evaluado mantendrá el ritmo de acuerdo a la señal sonora que le indica la velocidad de desplazamiento, correrá en línea recta y la prueba finaliza cuando el sujeto no puede mantener la velocidad. *Se considera como dato final el último estadio completo recorrido.*

La prueba de Léger es un test diseñado para determinar el  $\text{VO}_2\text{máx}$  y su validez es de 0,84. Las ecuaciones para determinar el  $\text{VO}_2\text{máx}$  son:

$$\begin{aligned} & - 6 \text{ a } 18 \text{ años} = 31,025 + (3,238 \times \text{VE}) - (3,248 \times \text{E}) + (0,1536 \times \text{VE} \times \text{E}) \\ & - \text{Mayores de } 18 \text{ años} = (5,857 \times \text{VE}) - 19,458 \\ & \quad (\text{Donde VE es Velocidad de Estadio; E es Edad}) \end{aligned}$$

En nuestro caso, el objetivo es determinar la VAM, por lo tanto, iremos a la tabla del Test para ubicar allí el dato a partir del estadio final de la prueba alcanzado por el sujeto. La tabla 2 presenta dos columnas de Velocidad para cada estadio, una corresponde a la velocidad del estadio y la otra a la velocidad lineal o equivalente a la carrera en terreno o campo para ese estadio, de esta última surge la VAM.

Estadio	Velocidad Estadio km/h	Velocidad Lineal km/h	Estadio	Velocidad Estadio km/h	Velocidad Lineal km/h
1	8,5	8,8	11	13,5	16,3
2	9,0	9,5	12	14	17
3	9,5	10,3	13	14,5	17,8
4	10	11	14	15	18,5
5	10,5	11,8	15	15,5	19,3
6	11	12,3	16	16	20
7	11,5	13,3	17	16,5	20,8
8	12	14	18	17	21,5
9	12,5	14,8	19	17,5	22,3
10	13	15,5	20	18	23

*Tabla 2. Test de Léger.*

*Ejemplo: si un sujeto realizó en el test 12 estadios, su VAM es de 17 km/h, ya que ésta surge siempre de la Velocidad lineal.*

Alternativamente puede emplearse una ecuación para determinar la VAM a partir del test de Léger, es la siguiente:

$$\text{VAM} = 1,502 \times \text{Velocidad de Estadio} - 4,0109 \text{ (Bisciotti, 2002)}$$

### **Test de Tiempo límite VAM**

A la semana siguiente de realizar el test de Léger, el sujeto es evaluado en el test de Tiempo Límite VAM, empleando esta prueba como test de comprobación de VAM. El deportista realiza un acondicionamiento previo con unos 15 minutos de ejercicios de movilidad articular y elongación, luego correrá durante 20 minutos\* al 60% de la VAM. Posteriormente, sin detenerse, acelera hasta el 100% de la VAM y correrá el mayor tiempo posible. El evaluado debe sostener la VAM, como mínimo 3 minutos para confirmar el dato, si no es capaz de lograr ese tiempo la VAM está sobreestimada y deberá repetirse esta prueba de comprobación (como mínimo 72 horas después) con una VAM 5 a 10% inferior. El rango de Tiempo Límite VAM es de 4 a 11 minutos con una media de 6 minutos\*\*.

*Ejemplo: El sujeto que realizó 12 estadios (ejemplo anterior) en el test de Léger, desarrollará ahora la prueba de comprobación VAM. En su acondicionamiento previo, luego de los ejercicios de elongación y movilidad articular, hará 3 repeticiones de 3*

\* El tiempo de 20 minutos al 60% VAM es indicado por Billat (2002) y aplicado con atletas de fondo. Para implementarlo con deportistas acíclicos es conveniente reducir el tiempo a 10 minutos o realizar 3 repeticiones x 3 minutos al 60%, 70% y 80% del VAM, respectivamente.

\*\* El dato está basado en atletas de fondo y medio fondo, Billat (2002).

minutos cada una con velocidades de 10,2; 11,9 y 13,6 Km. /h, respectivamente. Finalmente correrá a 17km/h intentando sostener ese ritmo el mayor tiempo posible. En este ejemplo el sujeto alcanzó a sostener la velocidad indicada 5 minutos, por lo tanto esa es su VAM.

El test de tiempo límite VAM no sólo permite comprobar la “velocidad aeróbica máxima” obtenida en cualquier test progresivo sino que brinda importante información para el entrenamiento<sup>††</sup> (Billat, 2001 y 2002).

## 2º) Definir la Orientación funcional de la carga

El entrenamiento intermitente presenta dos orientaciones: a) Intermitente “Aeróbico”(ITA) y b) Intermitente de “alta intensidad” (ITAI). La orientación funcional está determinada principalmente por la intensidad aplicada.

INTERMITENTE “AERÓBICO” (ITA)	INTERMITENTE “ALTA INTENSIDAD” (ITAI)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Intensidad</u>: 100 a 120 VAM</li> <li>• <u>Duración Carga</u>: 10 a 30 segundos (hasta 1 minuto)</li> <li>• <u>Efectos de entrenamiento</u>: Incremento del VO<sub>2</sub>MÁX (principalmente por factores musculares: &gt;eficiencia de la mioglobina; &gt; cinética del O<sub>2</sub> muscular; &gt; velocidad fosforilativa mitocondrial, &gt; niveles enzimáticos, etc.). Incrementa el mecanismo “Shuttle de Creatina”.</li> </ul>	<p>&gt; 120 a 140 o 150% VAM*</p> <p>5 a 40** segundos</p> <p>Incrementa la habilidad para repetir aceleraciones intensas (&gt; velocidad de resíntesis de PC); Aumenta el contenido glucogénico muscular; Incrementa los niveles de PDH activa y reduce la glucogenólisis y la acumulación de lactato durante el esfuerzo intenso.</p>

**Tabla 3:** Características de los trabajos IT según su Orientación funcional (Bisciotti, 2004; Billat, 2001; Colli, 1997; Burgomaster, 2005 y 2006; Tabata, 1996; Tonkonogi, 2002). \*\* El tiempo de 40 segundos es empleado en disciplinas cíclicas, para deportes acíclicos se utilizan rangos entre 5 y 10 segundos.

El entrenamiento ITAI **no debe ser confundido con el entrenamiento de resistencia a la velocidad**. Ambas direcciones de entrenamiento pueden coincidir en incrementar “la resistencia de aceleración” pero con intensidad, volumen, densidad y frecuencia muy diferente. En las disciplinas acíclicas, por ejemplo, el entrenamiento de resistencia a la velocidad se basa en el desarrollo combinado de la fuerza explosiva y la resistencia muscular local. Trabajándose específicamente en acciones de juego durante 60 a 180 segundos en 6 a 10 series (Grosser, 1992). En tanto el entrenamiento ITAI implica una modalidad de trabajo con mayor acento en los aspectos metabólico-musculares de las acciones de alta intensidad basadas en la carrera durante el juego. La intensidad de los

<sup>††</sup> Esta consideración es aplicable a deportes cíclicos.

trabajos está por encima de los ITA pero por debajo de la velocidad máxima (“sprint”). En la tabla anterior, se menciona un rango de trabajo para el ITAI de  $>120$  a  $140$  o  $150\%VAM$ , esto implica considerar también cuál es la velocidad máxima de sprint del deportista y relacionarla con el VAM para elegir uno u otro porcentaje límite.

*Ejemplo: Pedro tiene una VAM de 17km/h (4,72 m/seg.) su rango de intensidad para ITA será entre 4,72 a 5,66 m/seg. Mientras que el rango para ITAI será entre  $> 5,66$  a  $6,60(140\%)$  ó  $7,08(150\%)$  m/seg. Pedro a su vez realizó un test de sprint máximo de 30 metros (con partida detenida) y su resultado fue 3,75 segundos (8m/seg.). En este caso podrá entrenar en ITAI hasta  $150\%$  ya que su velocidad de sprint está por encima del valor límite del ITAI un  $14\%$ . En cambio, si Pedro hubiese tenido un resultado en el test de sprint máximo de 4 segundos (7,5 m/seg.), para el entrenamiento ITAI utilizaría hasta el  $140\%VAM$ , ya que su velocidad de sprint está muy cerca del  $150\%VAM$  ( $+ 5,5\%$ ). Se comprende que la diferencia entre el  $\%VAM$  límite para ITAI y la Velocidad de Sprint máximo debe ser  $\geq 10\%$  de manera que el desarrollo del volumen de entrenamiento de la sesión y la fatiga que provoca no incida negativamente en la orientación funcional del trabajo.*

Otro elemento de importancia es identificar la relevancia y necesidad para el deporte de los trabajos ITAI. Revisando los aportes de Gorostiaga y col. (2006) citados por Antivero en este curso, en el Handbol esta orientación funcional del entrenamiento intermitente podría ser muy beneficiosa.

### **3º) Determinar el Volumen total**

En el campo del entrenamiento deportivo no caben dudas que uno de los componentes de la carga que más dificultades plantea es el volumen. Definir el volumen para el entrenamiento intermitente no es la excepción. Mi criterio es considerar en primer lugar el análisis del deporte a partir de la tasa de esfuerzo (tanto absoluta como relativa) y los efectos de entrenamiento buscados dentro de la orientación funcional elegida (ITA ó ITAI). Existen en la actualidad muchos trabajos científicos que analizan la estructura del rendimiento de distintas disciplinas deportivas y el modelo funcional de competencia. Revisar estos trabajos nos permite, por ejemplo, conocer la distancia total que recorre un deportista en competencia, cómo y a qué intensidad lo hace, con qué alternancia y otros detalles de interés para elegir volúmenes de entrenamiento “más razonables” y adecuados, al menos a un modelo de competencia deportivo específico.

En los deportes acíclicos las constantes e imprevisibles detenciones y arranques; aceleraciones y cambios de dirección; y la alternancia de otro tipo de acciones más o menos complejas imponen un significativo gasto calórico que no se relaciona con la distancia total recorrida (tasa global del esfuerzo) sino con la tasa relativa del mismo (cómo y qué acciones desarrolla). El análisis del volumen de trabajo no puede de manera alguna emplear criterios similares a los de las disciplinas cíclicas.

Dentro de los deportes acíclicos, las dimensiones del campo de juego de los distintos deportes implican incluso diferentes usos de la carrera, con características cinéticas y cinemáticas diferentes, las cuales influyen a nivel neuromuscular y metabólico de modo específico.

En los distintos trabajos que estudian la tasa de esfuerzo de los deportes intermitentes pueden apreciarse dos variables bien definidas: a) distancia total recorrida y b)

distancias recorridas a diversas intensidades (principalmente: baja, alta y máxima). El estudio de ambas variables permite definir un volumen de trabajo para cada orientación funcional de entrenamiento de resistencia intermitente (ver tabla anterior). Es recomendable sumar a la distancia recorrida un 15 a 20% a efectos de conformar el volumen de trabajo. Finalmente, es lógico recordar que el volumen se ajustará además en función de aspectos particulares tanto de los deportistas como de programación y calendario de competencia.

#### **4º) Duración de las cargas y de las pausas.**

La duración de ambos componentes sigue criterios similares.

4.1. Para la carga los criterios a tener en cuenta son:

- a- el deporte y las dimensiones del campo de juego;
- b- el tiempo límite VAM; y
- c- la Intensidad de la carga.

*(a) Por ejemplo: si un sujeto tiene una VAM de 17 Km/h (4, 72 m/ seg.), su tiempo límite VAM es de 4 minutos y se planifica un entrenamiento al 110% VAM (5,20 m/seg), aplicando los criterios señalados podemos decir que si la carga es de 20 segundos el deportista recorrerá 104 metros en ese tiempo, si el sujeto en cuestión es un jugador de básquet o handbol la duración de la carga puede resultar exagerada e inespecífica en tanto que si se trata de un jugador de rugby, fútbol o hockey puede estar mejor.*

(b) El tiempo límite VAM del ejemplo (4 minutos) es bajo, esta es otra razón que se debe contemplar para establecer la duración de la carga.

*Por Ejemplo: Luis es jugador de futsal. Su VAM es de 17,8 km/h y entrenará al 110% (5,43 m/seg.). Su volumen de trabajo será de 1.800 metros (considerando que la distancia promedio en este deporte para las carreras de alta intensidad es de 1500 metros). De esta manera, Luis realizará por ejemplo: 12 rep. X 10seg. ; 6 rep. X 15 seg. ; 12 rep. X 10seg. Todo al 110%VAM. La decisión de entrenamiento fue priorizar las cargas de 10 segundos por sobre las de 15 segundos (ambas apropiadas para el deporte) pero Luis presentaba un TLIMVAM bajo (4 minutos). **En este ejemplo, el sujeto entrenó un 38% más de su TLIMVAM... ¡pero con una intensidad 10% mayor de la VAM! (TLIMVAM 240 segundos vs. Tiempo Total de Carga 330 segundos).** Es importante recordar que los efectos de entrenamiento se corresponden con el número de contracciones musculares desarrolladas en intensidades “óptimas” y estos factores están relacionados con el tiempo total de la carga.*

(c) La intensidad de la carga es otro de los aspectos a considerar para establecer la duración de las mismas. El criterio será análogo, es decir a mayor intensidad menor duración de la carga (y viceversa), por supuesto dentro de los rangos ya mencionados para cada orientación funcional de entrenamiento intermitente y según el nivel del deportista, el volumen total y otros aspectos.

4.2. Para la duración de la pausa los criterios son:

- a- Duración e Intensidad de la carga;
- b- Objetivo fisiológico del trabajo (dentro de su orientación funcional).



(a) La duración e intensidad de la carga empleada implica necesariamente una correspondencia con la duración de la pausa (por lo general es de 1:1; 1:1,5). Por ejemplo: 15" x 15"; 20" x 30"; 10" x 15"; etc.

(b) Respecto al objetivo fisiológico, por ejemplo, si se pretende incrementar la velocidad de uso y resíntesis del O<sub>2</sub> mioglobínico, está bien descrito en la literatura que los tiempos de las cargas deben ser entre 5 y 15 segundos y las pausas serán de 7 a 20 segundos. Relación óptima carga/pausa 1:1,5 (Astrand, 1992; Treuth y col. 1996). Además, las cargas más cortas (aunque intensas) provocan menor percepción subjetiva de esfuerzo en la escala de Borg.

#### **5º) Definir la Intensidad de las cargas**

La intensidad de las cargas se define conforme a los lineamientos de la tabla: "Características de los trabajos IT según su Orientación funcional" (punto 2º).

#### **6º) Establecer el tipo de Pausa**

En este punto se decide el uso de una pausa "activa" o "pasiva" que alterna con las cargas. La pausa activa se realiza a "velocidad de recuperación activa" (denominada VAR). En general ésta se realiza al 50 o 60% del VAM. Desde luego que el principal elemento a considerar en este sentido es la condición física del deportista.

### **CONCLUSIONES.**

- En los esfuerzos intermitentes se aprecia una alternancia de variaciones de Intensidad, Duración, Frecuencia, Cinética y Cinemática de las acciones musculares, esto hace que los sistemas cardiovascular y neuromuscular participen de manera específica y muy diferente al modelo fisiológico del ejercicio "continuo" o "intervalado".
- El sistema oxidativo (aeróbico) contribuye significativamente en el aporte de energía durante el ejercicio intermitente, tanto en las cargas como en las pausas.
- El glucógeno muscular es el principal sustrato durante las cargas; las grasas y la glucosa sanguínea en las pausas.
- Existiría un exquisito sistema de control y feedback corporal conformado por la función de aporte de O<sub>2</sub> a los músculos durante ejercicios intensos e intermitentes y la función de control del flujo sanguíneo muscular. El potencial del músculo esquelético para provocar cambios vasculares (con implicancias metabólicas) durante el ejercicio es extraordinario.
- Si las cargas son  $\leq 30$  segundos de duración y la intensidad por encima del VO<sub>2</sub>máx la producción de lactato es reducida pero no necesariamente implica menor glucogenólisis.
- Los beneficios del ejercicio intermitente dependen de la distancia total recorrida a la intensidad programada (por ejemplo, 110%VAM), ya que esto implica un número determinado de contracciones musculares realizadas con "intensidades óptimas". Los efectos de entrenamiento se modelan a partir de la duración de la carga y la pausa, su intensidad y el volumen total.
- La fatiga durante los ejercicios intermitentes es multifactorial y compleja. Posiblemente uno de los factores implicados sea la acumulación de Potasio en el intersticio muscular (Nielsen y col, 2004) provocando reducción de los niveles de fuerza y disturbios neuromusculares específicos. La depleción glucogénica

representa un factor muy importante para la fatiga durante ejercicios intermitentes prolongados y/o competitivos.

- Los niveles de lactato sanguíneo no presentan correlación con los valores musculares de lactato durante los ejercicios intermitentes.
- El diseño de una carga de entrenamiento eficaz para desarrollar adaptaciones relacionadas con la resistencia en los deportes acíclicos debe contemplar los siguientes pasos: a) *Determinación de la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM)*; b) *Definir la Orientación funcional de la carga a partir de la Intensidad*; c) *Determinar el Volumen de entrenamiento*; d) *Establecer la Duración de las Cargas y de las Pausas* y e) *Establecer el tipo de Pausa (activa o pasiva)*.

## REFERENCIAS

1. ANDERSEN P and SALTIN B. (1985). Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *J. Physiol.* 366: 233-249.
2. ANDERSEN P, ADAMS R, SJOGAARD G, THORBOE A and SALTIN B. (1985a). Dynamic knee extension as a model for the study of an isolated exercising muscle in man. *J. Appl. Physiol.* 59, 1647-1653.
3. ANTIVERO E. (2006). Análisis de la distancia recorrida y tasa del esfuerzo en deportes de conjunto. En: Curso a distancia de entrenamiento físico en deportes de conjunto. [www.sobreentrenamiento.com](http://www.sobreentrenamiento.com)
4. ASTRAND I, ASTRAND PO, CHRISTENSEN H and HEDMAN, R. (1960a). Intermittent muscular work. *Acta Physiol. Scand.* 48: 443.
5. ASTRAND I, ASTRAND PO, CHRISTENSEN H and HEDMAN, R. (1960b). Myohemoglobin as an Oxygen-stored in Man. *Acta Physiol. Scand.* 48: 454.
6. ASTRAND PO. (1992). Endurance in Sport. In *Endurance in Sport*, Shephard R y Astrand PO(eds). Ed. Blackwell scientific publication. Oxford 8-15.
7. BANGSBO J. (1994). The physiology of soccer-with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol. Scand.* 151(610) 1-157.
8. BANGSBO J and LINDQUIST F. (1992). Comparison of various exercise tests with endurance during soccer in professional players. *Int. Jou. Sport Med.* 13:125-132.
9. BANGSBO J, KRUSTRUP P, GONZÁLEZ-ALONSO J, BOUSHEL R and SALTIN B. (2000). Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279: 899-906.
10. BANSGBO J. (2000a). Physiology of intermittent exercise. Chapter 5, pp 53-65. En: *Exercise and Sport Science*. Garrett W y Kirkendall D(editors). Lippincott Williams&Wilkins.
11. BARSTOW T, et al. (1994). In: SCHEUERMANN B Y BARSTOW T. O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. (2003) *J. Appl. Physiol.* 95: 2014-2022.
12. BELL C. 2001. In: PATERSON N, KOWALCHUK J and PATERSON D. (2005). Kinetics of VO<sub>2</sub> and femoral artery blood flow during heavy intensity, knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 99: 683-690.
13. BILLAT V. (2002). Fisiología y Metodología del entrenamiento: de la teoría a la práctica. ED. Paidotribo.
14. BILLAT V, SLAWINSKI J, BOCQUET V, CHASSAING P, DEMARIE A and KORALSZTEIN J. (2001). Very short (15 s-15s) interval training around the critical velocity allows middle-age runners to maintain VO<sub>2</sub>max for 14 minutes. *Int. J. Sports Med.* 22:201-208.

15. BILLAT V, SLAWINSKI J, BOCQUET V, DEMARIE A, LAFFITE L, CHASSAING P and KORALSZTEIN J. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81: 188-196.
16. BISCIOTTI G. (2004). L'incidenza fisiologica dei parametri di durata, intensità e recupero nell'ambito dell'allenamento intermittente. *SDS*, 60 -61: 90-96.
17. BISHOP D, EDGE J, DAVIS C, DAWSON B and GOODMAN C. (2002). The importance of buffer capacity for repeated sprint ability. Australian Conference of Science and Medicine in Sports. Melbourne, Victoria. *Australian Association for Exercise and Sports Science* (1):101.
18. BOSCO C. (2000). La fuerza muscular: aspectos metodológicos. ED. INDE.
19. BROOKS G, FAHEY T and BALDWIN K. (2005). Exercise Physiology: Human bioenergetics and its applications. Pp 109. 4<sup>ed</sup>. McGraw Hill.
20. BURGOMASTER K, HUGHES S, HEIGENHAUSER G, BRADWELL S and GIBALA M. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J. Appl. Physiol.* 98: 1985-1990.
21. BURGOMASTER K, HEIGENHAUSER G and GIBALA M. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J. Appl. Physiol.* 100:2041-2047.
22. COLLI R, INTROINI E and BOSCO C. (1997). L'allenamento intermittente: istruzioni per l'uso. *Coaching and Sport Science Journal*. 1: 29-34.
23. CARLING C, WILLIAMS, REILLY, T. (2005). Handbook of soccer match analysis. A systematic approach to improving performance. Routledge, Abingdon, UK.
24. CASAS, A. (2005). In: Entrenamiento Personal. Coord. Alfonso Jiménez Gutiérrez. Cap. 9, pág. 227. Ed. INDE.
25. CERRETELLI P, RENNIE DW and PENDERGAST DR. (1980). Kinetics of metabolic transients during exercise. In: Exercise Bioenergetics and Gas Exchange, P. Cerretelli, and B. J. Whipp (1980) (Eds.). Amsterdam: Elsevier, pp. 187-209.
26. CHRISTENSEN E, HEDMAN R and SALTIN B. (1960). Intermittent and continuous running. *Acta Physiol. Scand.* 50: 269.
27. COLLI R, INTROINI E, BOSCO C. (1997). L'allenamento intermittente: istruzioni per l'uso. *Coaching & Sport Science Journal*. 1: 29-34. 1997.
28. DANIELS J and SCARDINA N. (1984). Intervall Training and performance. *Sports Med.* 1: 327-334.
29. DANIELS J. (1998). Daniels' running formula. Champaign, IL: Human Kinetics,
30. ESSÉN B, HAGENFELDT L and KAIJSER L. (1977). Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J. Physiol.* 265: 489-506.
31. ESSÉN B. (1978). Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 454:1-32.
32. GARDINER P. (2001). Neuromuscular Aspects of Physical Activity. ED. Human Kinetics.
33. GRASSI BD, et al. (1996). Muscle O<sub>2</sub> uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J. Appl. Physiol.* 80:988—998.

34. GRASSI B, GLADDEN B, SAMAJA M, STARY C and HOGAN M. (1998a). Faster adjustment of O<sub>2</sub> delivery does not affect VO<sub>2</sub> on kinetics in isolated in situ canine muscle. *J. Appl. Physiol.* 85: 1394-1403.
35. GRASSI B, GLADDEN B, STARY C, WAGNER P and HOGAN M. (1998b). Peripheral O<sub>2</sub> diffusion does not affect VO<sub>2</sub> on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J. Appl. Physiol.* 85: 1404-1412.
36. GROSSER M. (1992). Entrenamiento de la Velocidad: fundamentos, métodos y programas. ED. Martínez Roca. Pág.146 a 149.
37. HOLLMANN W and VENRATH H. (1963). In: Fisiología del trabajo físico. Astrand y Rodahl. (1985) 2º edición. ED. Médica Panamericana.
38. HUGHSON RL, et al. (1996). Dependence of muscle VO<sub>2</sub> on blood flow dynamics at the onset of forearm exercise. *J. Appl. Physiol.* 81:1619-1626.
39. HUGHSON Y, et al. (1997). In: TSCHAKOVSKY M and HUGHSON R. (1999). Interacción of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* 86 (4): 1101-1113.
40. IMPELLIZERI F, ARCELLI E and LATORRE A. (2001). L'allenamento intermittente. Profilo metabolico ed adattamenti indotti. *Atletica studi.* 2: 7-15.
41. KRUSTRUP P and BANGSBO J. (2001). Physiological demands of top-class refereeing in relation to physical capacity : effect of intense intermittent exercise training. *J. of Sports Sc.* 19: 881-891.
42. KRUSTRUP P, MOHR M, AMSTRUP T, RYSGAARD T, JOHANSEN J, STEENBERG A, PEDERSEN P and BANGSBO J. (2003). The Yo-Yo intermittent recovery test: physiological response, reliability and validity. *Med. Sc. Sports and Exerc.* 35:697-705.
43. KRUSTRUP P, HELLSTEN Y and BANGSBO J. (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *J. Physiol.* 559: 335-345.
44. KRUSTRUP P, MOHR M, STEENBERG A, BENCKE J, KJAER M and BANGSBO J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med. Sci. Sports and Exerc.*(38) 6: 1165-1174.
45. KURKIAJA D and SEGAL S. (1995). Conducted vasodilation elevates flow in arteriole networks of hamster striated muscle. *Am. J. Physiol.* 269: 1723-1728.
46. LAUGHLIN M, KORTHUIS R, DUNCKER D and BACHE R. (1996). Control of blood flow to cardiac and skeletal muscle during exercise. In Handbook of Physiology, XII: Exercise: Regulation and Integration of multiple systems. Eds. Rowel L and Shepherd J, 705-769. New York: Oxford University Press.
47. LÉGER L and LAMBERT J. (1982). Maximal multistage 20m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub>max. *Eur. J.Appl. Physiol.* 49:1-12.
48. LÉGER, et al. (1988). The multistage 20m shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences.* 62:93-101.
49. MACDONALD, M. (1998 and 2000). En: PATERSON N, KOWALCHUK J Y PATERSON D. (2005). Kinetics of VO<sub>2</sub> and femoral artery blood flow during heavy intensity, knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 99: 683-690.
50. MARGARIA R, et al. (1964). Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 19: 623-628.
51. MARGARIA R, et al. (1965). The kinetic of the oxygen consumption at the onset of muscular exercise in man. *Ergonomics*, 8: 49-54.
52. MARTIN D, CARL K, LEHNERTZ K. (2001). Manual de Metodología del Entrenamiento Deportivo. ED. Paidotribo.

53. MCCREARY C, et al. (1996). In: SCHEUERMANN B Y BARSTOW T.(2003) O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. *J. Appl. Physiol.* 95: 2014-2022.
54. MOHR M, KRUSTRUP P and BANGSBO J. (2003). Match performance of high standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sp. Sciences.* 21:519-528.
55. NEUMANN G. (1990). La struttura della prestazione negli sport di resistenza. *SDS*.
56. NIELSEN J, MOHR M, KLARSKOV C, et al. (2004). Effects of high intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 554: 857-870.
57. NOAKES T. (1991). *Lore of running*. Champaign, IL. Leissure Press, 450.
58. NOAKES T, MYNURGH K, SCHALL R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub>max test predicts running performance. *J. Sports Sci.* 8: 35-45.
59. NÖCKER J, BOHLAU N and HOHNEN R. (1980). In: Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento. Nöcker J. ED. Kapelusz.
60. NÖCKER J, LEHMANN D and SCHLEUSING G. (1958). In: Fisiología del trabajo físico. Astrand y Rodahl.(1985) 2ª edición. ED. Médica Panamericana.
61. PATE R, PRATT M, BLAIR SN, et al. (1995). Physical activity and public health : a recommendation from the Center for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*; 273: 402-407.
62. PATERSON N, KOWALCHUK J and PATERSON D. (2005). Kinetics of VO<sub>2</sub> and femoral artery blood flow during heavy intensity, knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 99: 683-690.
63. PETERS S and SPRIET L. (1995). Skeletal muscle phosphofructokinase activity examined under physiological condition in vitro. *J. Appl. Physiol.* 78: 1853-1858.
64. PHILLIPS SM, GREEN HJ, MACDONALD MJ and HUGHSON RL. (1995). Progressive effect of endurance training on VO<sub>2</sub> kinetics at the onset of submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 79:1914-1920.
65. RADEGRAN G and SALTIN B. (1998). Muscle blood flow at onset of dynamic exercise in man. *Am. J. Physiol.* 274: 314-322.
66. RADEGRAN G and CALBET A. (1999). In: Exercise and circulation in health and disease. (2000). Pp.135. Eds. Saltin B, Boushel R, Secher N y Mitchell J. Human Kinetics.
67. REINDELL H and ROSKAMM H. (1959) Ein Beitrag zu den physiologischen Grundlagen des Intervalltrainings unter besonderer Berücksichtigung des Kreislaufes. *Schweitz. S. Sportmed.*, 7: 1-8.
68. REINDELL H, ROSKAMM H and GERSCHLER W. (1963). *Das Intervalltraining*, JA. Barth, Munich, 106.
69. REILLY T. (1994) The physiological profile of the soccer player. In Soccer (Ed. Ekblom). Blackwell, Oxford.31-42.
70. RICHARDSON R. (2000) What governs skeletal muscle VO<sub>2</sub>max? New evidence. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (1) 100-107.
71. RICHARDSON R, HARMS C, GRASSI B and HEPPLER R. (2004) El músculo esquelético: ¿amo o esclavo del sistema cardiovascular? Versión en español: PubliCePremium. 5/5/2004. Pid:289.www.sobreentrenamiento.com
72. RICHARDSON R, POOLE D, KNIGHT S, KURDAK D, HOGAN M, GRASSI B, JOHNSON E, KENDRICK K, ERICKSON B and WAGNER P. (1993) High

- muscle blood flow in man: is maximal O<sub>2</sub> extraction compromised? *J. Appl. Physiol.* 75: 1911-1916.
73. ROSSITER H. 1999. In: SCHEUERMANN B Y BARSTOW T. (2003) O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. *J. Appl. Physiol.* 95: 2014-2022.
  74. SEILER S. (2002) Understanding intervals: matching training characteristics to physiological changes. Sitio web: The Institute for Sport, Kristiansand. Norway. Stephen Seiler site.
  75. SHOEMAKER J, HODGE L and HUGHSON, L. (1994) Cardiorespiratory kinetics and femoral artery blood velocity during dynamic knee extension exercise. *J. Appl. Physiol.* 77:2625-2632.
  76. SHOEMAKER J et al. (1996 and 1997). In: TSCHAKOVSKY M Y HUGHSON R. (1999) Interacción of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* 86 (4): 1101-1113.
  77. SVENSSON M and DRUST B. (2005). Testing Soccer players. *J. Sp. Science.* 23 (6): 601-618.
  78. TABATA I, NISHIMURA K, KOUZAKI M et al. (1996) Effects of moderate intensity endurance and high intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>máx. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1237-1230.
  79. TONKONOGI M and SAHLIN K. (2002) Physical exercise and mitochondrial function in human skeletal muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 30(3): 129-137.
  80. TORDI N, PERREY S, HARVEY A and HUGHSON R. (2003) Oxygen uptake kinetics during two bouts of heavy cycling separated by fatiguing sprint exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 94: 533-541.
  81. TREUTH M, HUNTER G and WILLIAMS M. (1996) Effects of exercise intensity on 24-h energy expenditure and substrate oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(9): 1138-1143.
  82. TSCHAKOVSKY M and HUGHSON R. (1999) Interacción of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* 86 (4): 1101-1113.
  83. TSCHAKOVSKY M, SHOEMAKER J and HUGHSON R. (1995) Beat by beat forearm blood flow with Doppler Ultrasound and strain-gauge plethysmography. *J. Appl. Physiol.* 79: 713-719.
  84. VAN AAKEN E and BERBEN D. (1971) Intervall training. Teoría della corsa prolungata. Ed. Atletica leggera. Milano.
  85. VERCHOSHANSKIJ J. (1992) Un nuovo sistema di allenamento negli sport ciclici. Rivista di cultura sportiva. *SDS.* 27:33-45. Oct/Dic.
  86. WALLOE L and WESCHE J. (1988) Time course and magnitude of blood flow changes in human quadriceps muscle during and following rhythmic exercise. *J. Appl. Physiol.* 405: 257-273.
  87. WATKINS, J. (1999) Structure and Functions of the Musculoskeletal System. ED. Human Kinetics.