

# LA BIORRETROALIMENTACION COMO TECNICA DE ENTRENAMIENTO PSICOLOGICO DEPORTIVO<sup>1</sup>

**LLUÍS CAPDEVILA, MÒNICA PINTANEL, LOURDES VALIENTE Y JAUME CRUZ**

Laboratorio de Psicología del Deporte. Universidad Autónoma de Barcelona.

## Resumen

Dentro del ámbito de la Psicología del Deporte, la técnica de biorretroalimentación (BIO), forma parte de algunos programas de entrenamiento psicológico, incidiendo básicamente en tres áreas de aplicación: 1) la reducción de la ansiedad o el estrés precompetitivos; 2) la mejora de la eficiencia cardiorrespiratoria durante el ejercicio; 3) la mejora de aspectos conductuales relacionados con el rendimiento motor. Se explican tres líneas de investigación en BIO llevadas a cabo en el Laboratorio de Psicología del Deporte de la *Universitat Autònoma de Barcelona*: a) BIO de la frecuencia cardíaca (FC) en pruebas ergométricas; b) BIO de la sincronización entre frecuencia respiratoria (FR) y ritmo de trabajo (pedaleo o paso) en pruebas ergométricas; c) BIO electromiográfica (EMG) en situaciones deportivas muy específicas y automatizadas. Los resultados obtenidos hasta el momento son prometedores en cuanto a la eficacia de la BIO para potenciar el rendimiento fisiológico y para mejorar aspectos conductuales en deportistas, a partir del autocontrol de la FC y la FR, y de la información EMG.

**Palabras clave:** Biorretroalimentación (BIO), psicología del deporte, frecuencia cardíaca (FC), frecuencia respiratoria (FR), electromiografía (EMG).

## Abstract:

Biofeedback techniques are usually included into psychological training programs in the Sport Psychology field in order to: 1) decrease precompetitive anxiety and stress, 2) enhance cardiorespiratory efficiency during exercise, and, 3) enhance behavioral patterns related to motor efficiency. In this sense, we describe three types of research which have been developed at the Laboratorio de Psicología del Deporte (*Universitat Autònoma de Barcelona*): a) Heart rate biofeedback in ergometric tests; b) Biofeedback of synchronization between respiratory frequency and pedal rhythm or step rhythm during ergometric tests; and, c) Electromyography biofeedback in sport situations which are highly specific and automatic. At this moment, the results obtained are very promising about the possibilities that biofeedback offers to enhance physiological efficiency as well as to improve behavioral performance in athletes by using information about electromyography and self-control of heart rate and respiratory frequency.

**Key words:** Biofeedback, sport psychology, heart rate, respiratory frequency, electromyography.

## 1. Introducción

La biorretroalimentación (BIO) es una técnica que se ha utilizado desde hace algunas décadas con finalidades terapéuticas para controlar problemas de salud y trastornos de con-

ducta. Concretamente, su uso ha sido frecuente en los ámbitos de la Psicología de la Salud y la Medicina Conductual para tratar trastornos tan diversos como el dolor de cabeza tensional, la hipertensión, la ansiedad, el asma, o los problemas cardiovasculares, entre otros. También ha tenido aplicaciones más específicas como la rehabilitación en pacientes con disfunciones motrices, el control de la motilidad gastrointestinal, el tratamiento de trastornos en la comunicación o de trastornos en el sistema masticatorio/dental (Basmajian, 1989).

Dentro de este ámbito, Vila (1980) ha definido la BIO como el "conjunto de procedimientos experimentales destinados a proporcionar a un organismo, a través de un indicador sensorial externo, información inmediata y precisa de una o varias de sus funciones biológicas, generalmente con la finalidad de producir modificaciones en dichas funciones" (p. 267). En esta misma línea, diferentes definiciones ponen énfasis en otros aspectos complementarios: a) la naturaleza continua e instantánea de los datos fisiológicos recogidos electrónicamente (Basmajian, 1989); b) el aprendizaje del control voluntario de mecanismos reflejos (Carrobes, 1981; Davis, McKay y Eshelman, 1985); o c) la autorregulación voluntaria de variables sometidas a BIO sin ayuda de instrumentación (Petruzzello, Landers y Salazar, 1991).

En el ámbito deportivo las investigaciones sobre la aplicación de la BIO son aún un hecho muy reciente (Zaichkowsky y Fuchs, 1989). Dentro de las ciencias del deporte se encuentra una evolución paralela, aunque casi siempre inconexa, de las aplicaciones médicas y psicológicas, a las que se añade un nuevo campo de interés: la Biomecánica. Esta ciencia, a caballo entre los ámbitos de estudio de la Fisiología, la Educación Física y la Psicología Conductual, se dedica al análisis del movimiento de gestos deportivos muy específicos (por ejemplo la batida en un salto de altura). De esta manera la BIO suele utilizarse para el control y el perfeccionamiento de la secuenciación de movimientos técnicos (Ariel, 1985). Desde la Medicina del Deporte se ha propuesto la utilización de la BIO como alternativa al tratamiento médico convencional de los múltiples trastornos que pueden sufrir los deportistas durante su actividad (Gans, 1985). Pero la principal aplicación médica de la técnica ha sido la rehabilitación de las lesiones deportivas (Wolf, 1985). Así, la BIO electromiográfica se utiliza para la reeducación de deportistas que han sufrido una lesión, después de una inmovilización prolongada (por ejemplo, después de un período de reposo en cama o de inmovilización con yeso) o después de una intervención importante (por ejemplo, de un trasplante tendinoso).

## **2. La Biorretroalimentación en Psicología del Deporte**

Ya dentro del campo de estudio de la Psicología del Deporte, la BIO se incluye habitualmente como técnica de entrenamiento psicológico en situaciones de competición deportiva (Capdevila, 1989; Palmi, 1991; Vealey, 1988), junto a otras técnicas como la visualización, la relajación o la reestructuración cognitiva. No obstante, la BIO es una de las técnicas de entrenamiento psicológico menos utilizadas por los psicólogos del deporte (en un 25% de las investigaciones publicadas, según una revisión de Palmi -1991-), quizás debido a la necesaria tecnificación y encarecimiento del aparatado necesario. Las variables que más se han utilizado en este ámbito son las cardiorrespiratorias (frecuencia cardíaca, registro cardíaco continuo, frecuencia respiratoria, registro respiratorio continuo, ventilación de aire, volumen de oxígeno) y las variables relacionadas con la actividad muscular (EMG principalmente). Podemos distinguir tres áreas de aplicación de la BIO en la Psicología del Deporte, distintas en cuanto al objetivo final que persiguen: A) la reducción de la ansiedad, la tensión muscular o la activación precompetitivas; B) la mejora de la eficiencia cardiorrespiratoria durante el ejercicio; y C) la mejora de aspectos conductuales o de gestos técnicos relacionados con el rendimiento motor.

### **A) La reducción de la ansiedad, la tensión muscular o la activación precompetitivas**

Este es, quizás, el objetivo que ha despertado más interés y que ha originado mayor cantidad de investigaciones por parte de los psicólogos del deporte. Zaichkowsky y Fuchs (1989), en una revisión sobre la utilización de la BIO como técnica de control de la ansiedad en situaciones competitivas, destacan las investigaciones realizadas por Blais y Orlick (1977), que entrenaban a patinadores y esquiadores acuáticos para reducir la tensión del músculo frontal; la de Nideffer (1976), que utilizó la BIO EMG en nadadores; o la de Hanin (1980), que la utilizó para superar situaciones ansiógenas. Por otro lado, Sime (1985) también destaca la importancia de la BIO como técnica de relajación, explicando sus efectos sobre el control de variables cardiorrespiratorias. En otras investigaciones, aunque el objetivo no sea eliminar la ansiedad precompetitiva, se pretende reducir la tensión muscular anticipatoria. Así, por ejemplo, Pineal y Schultz (1978) encontraron que niveles altos de tensión precompetitiva afectaban negativamente al rendimiento de nadadores, sugiriendo la BIO EMG como técnica para minimizar tales efectos. Por otra parte, Landers y colaboradores iniciaron una línea de investigación alrededor de 1979 en deportes de precisión. Los estudios de este equipo muestran la utilidad de la BIO de variables cardíacas y respiratorias en la reducción del nivel de activación general. Así, en tiradores de rifle y de arco, el estudio de la localización exacta del tiro dentro de los ciclos cardíaco y respiratorio permite mejorar patrones conductuales mediante la BIO (Boutcher y Landers, 1988; Daniels y Landers, 1981; Landers, 1980).

### **B) La mejora de la eficiencia cardiorrespiratoria durante el ejercicio**

Existen pocos trabajos sistemáticos dentro del ámbito de la aplicación del entrenamiento psicológico para mejorar la eficiencia cardiorrespiratoria y el rendimiento fisiológico de deportistas. Algunos de ellos utilizan con éxito técnicas cognitivo-conductuales en atletas que realizan pruebas de esfuerzo en tapiz rodante (Ziegler, Klizing y Williamson, 1982; Capdevila, 1989). En otros trabajos se ha evaluado la técnica de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca en deportes de precisión (Landers, 1985) y en ejercicio físico dinámico (Burrill, 1990; Valiente, 1993). Estas investigaciones recientes en las que se estudia la mejora de la eficiencia cardiorrespiratoria y el rendimiento fisiológico de los deportistas se han basado en trabajos precedentes donde se evaluaba la técnica de biorretroalimentación durante ejercicio físico, en una población clínica con deficiencias cardiorrespiratorias (Goldstein, Ross y Brady, 1977; Lo y Johnston, 1984; Perski, Tzankoff y Engel, 1985). El objetivo principal de esta área de aplicación es comprobar el efecto de la técnica de biorretroalimentación sobre la mejora cardiorrespiratoria de sujetos sedentarios y deportistas. A los sujetos se les enseña a autocontrolar su frecuencia cardíaca (FC) durante la realización de ejercicio físico máximo y submáximo. Los resultados indican que los valores de FC registrados después del aprendizaje de dicha técnica, son inferiores a los valores de nivel basal. En la Tabla 1 se resumen los principales trabajos sobre el uso de la BIO FC para mejorar la eficiencia cardiorrespiratoria.

Otra línea de investigación, poco estudiada hasta el momento, es aquella en la que se aplica la BIO de la frecuencia respiratoria (FR) durante el ejercicio físico. Tal como señalan Petruzzello, Landers y Salazar (1991), existe relación entre los cambios de FC y FR cuando se utiliza la técnica de BIO. Durante el ejercicio físico, seguramente es más fácil controlar la FR que la FC, ya que la respiración está bajo el control voluntario por parte de los sujetos (Hatfield, Spalding, Mahon, Brody y Vaccaro, 1986). En este sentido, sería conveniente evaluar la efectividad de la BIO FR en la mejora de la eficiencia cardiorrespiratoria de los deportistas, tal como se está haciendo con la FC.

**TABLA 1: Resumen de los trabajos que estudian la efectividad de la técnica de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca sobre la mejora de la eficiencia cardiorrespiratoria**

VARIABLE	ESTUDIO	POBLACION	EJERCICIO
FC	Alvarez (1994) Burrill (1990) Daniels y Landers (1981) Clemens y Shattock (1979) Goldstein, Ross y Brady (1977) Lo y Johnston (1984) Moses, Clemens y Brener (1986) Perski, Tzankoff y Engel (1985) Perski y Engel (1980) Valiente (1993)	Sedentarios Biathletas Tiradores rifle Sedentarios Sedentarios Sedentarios Sedentarios Deportistas Sedentarios Ciclistas	Tapiz rodante Cicloergómetro Estático Estático Tapiz rodante Cicloergómetro Estático Cicloergómetro Cicloergómetro Cicloergómetro

### **C) La mejora de aspectos conductuales o de gestos técnicos relacionados con el rendimiento motor**

Este campo de aplicación ha sido el menos estudiado por los psicólogos del deporte, siendo un área de interés de otras ciencias del deporte como la Educación Física y la Biomecánica. Dado que la actividad muscular se puede analizar detalladamente a través del registro electromiográfico, es posible utilizar la BIO de tal registro (BIO EMG) para corregir, mejorar o aprender aspectos motrices específicos (por ejemplo, la secuencia de movimientos correctos que favorecen un buen servicio en el tenis). Aunque este objetivo parece enmarcado dentro de la biomecánica y, a simple vista, tiene poco de "psicológico", el límite para etiquetarlo como técnica psicológica sería su inclusión dentro de un programa más amplio de entrenamiento psicológico, con el objetivo final de favorecer la ejecución de algún aspecto conductual. Así, por ejemplo, se podría utilizar BIO EMG para mejorar el servicio de un tenista mientras está utilizando una técnica de visualización. Por otra parte, ya hemos comentado los trabajos de Landers *et al.* donde se mejoran patrones conductuales asociados con un buen rendimiento mediante la BIO de los ciclos cardíaco y respiratorio. Con ese mismo objetivo, otros estudios ponen de manifiesto la utilidad de la BIO EMG y de la BIO electroencefalográfica para modificar patrones conductuales en tiradores (Gannon, Landers, Kubitz, Salazar y Petruzzello, 1992; Landers, Petruzzello, Salazar, Crews, Kubitz Gannon y Han, 1991).

### **3. Investigaciones sobre biorretroalimentación en el laboratorio de psicología del Deporte de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)**

Una vez resumidas las principales aplicaciones de la BIO, en los siguientes apartados explicaremos, a rasgos generales, la metodología utilizada en el Laboratorio de Psicología del Deporte de la UAB para el estudio de la BIO como técnica de Entrenamiento Psicológico en

deportistas. Dentro de un proyecto más amplio sobre la evaluación de la efectividad de diversas técnicas de preparación psicológica, actualmente se están llevando a cabo tres líneas de investigación en las que se valora la utilidad de la BIO de diversas variables en situaciones deportivas controladas: A) *BIO de la frecuencia cardíaca en pruebas ergométricas de laboratorio* (cicloergómetro y tapiz rodante); B) *BIO de la sincronización entre frecuencia respiratoria y ritmo de trabajo en pruebas ergométricas de laboratorio* (ritmo pedaleo en cicloergómetro y ritmo del paso en tapiz rodante); C) *BIO con electromiografía en situaciones deportivas muy específicas y automatizadas*.

#### **A) Biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (BIO FC) en pruebas ergométricas de laboratorio (cicloergómetro y tapiz rodante)**

Como ya se ha comentado, existen algunos trabajos sistemáticos sobre la aplicación del entrenamiento psicológico para mejorar la eficiencia cardiorrespiratoria durante el ejercicio. Siguiendo esta misma línea de investigación, en nuestro Laboratorio se pretende observar los efectos del entrenamiento en BIO FC, sobre el rendimiento de dos tipos de población: a) ciclistas entrenados, mediante la realización de pruebas de esfuerzo máximo en cicloergómetro; b) sujetos sedentarios, mediante la realización de pruebas de esfuerzo submáximo en tapiz rodante.

La investigación en el primer tipo de población -ciclistas entrenados- tiene en cuenta tres puntos que proponen Petruzzello, Landers y Salazar (1991), para intentar establecer un vínculo claro entre deporte y biorretroalimentación: a) determinar si se puede atenuar la frecuencia cardíaca durante ejercicio físico con cargas de intensidad superiores al 70% de la frecuencia cardíaca máxima; b) demostrar si la habilidad para controlar la frecuencia cardíaca durante el ejercicio permite que los sujetos sean capaces de actuar más tiempo con un menor desgaste metabólico; c) comparar la técnica de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca con otras técnicas cognitivo-conductuales como por ejemplo la relajación. Ante estas sugerencias y los resultados de diferentes estudios previos obtenidos en nuestro Laboratorio (Capdevila, 1989; Capdevila y Cruz, 1992; Capdevila, Cruz y Viladrich, 1992; Capdevila *et al.*, 1993; Valiente, 1993), se ha planteado un diseño experimental de tipo factorial (4x2) basado en dos fases de recogida de información (pretest y postest) y cuatro grupos de ciclistas. En ambas fases los deportistas realizaban una prueba de esfuerzo máximo (hasta llegar a la extenuación), pero en la fase de postest los ciclistas debían aplicar la técnica o técnicas psicológicas entrenadas durante cinco sesiones intermedias. Así pues, el Grupo 1 (Control) no recibía ningún entrenamiento psicológico; el Grupo 2 era entrenado en el control de la FC con la técnica de BIO, mediante la instrucción de disminuir los valores de FC; el Grupo 3 era entrenado en una técnica de relajación que consistía en sincronizar la cadencia de pedaleo con la frecuencia respiratoria; y por último, el Grupo 4 aprendía las dos técnicas explicadas. Todos los grupos realizaban quince minutos de ejercicio en el cicloergómetro, a una carga baja (100 watos), durante las cinco sesiones intermedias. En cuanto al análisis de resultados, se realiza una comparación de diferentes parámetros obtenidos entre ambas fases para los cuatro grupos de sujetos. Estos parámetros son: a) los valores continuos de frecuencia cardíaca durante ambas pruebas de esfuerzo máximo; b) el tiempo que el ciclista resiste en la prueba de esfuerzo; y c) la carga de trabajo (en watos) obtenida al final de la prueba. Se considera que el entrenamiento psicológico mejora la eficiencia cardiorrespiratoria y el rendimiento fisiológico de los deportistas cuando, comparando las medidas obtenidas durante las pruebas de esfuerzo en la fase pretest con las medidas de la fase postest, se observan las siguientes tendencias: a) unos valores inferiores de la frecuencia cardíaca en el postest; b) un incremento del tiempo de rendimiento

máximo en el postest, es decir que el sujeto actúe durante un mayor tiempo con un menor desgaste metabólico; y c) un incremento de la carga máxima alcanzada en el postest. A modo de ejemplo, podemos observar la Figura 1, donde se representan las dos curvas de los valores de frecuencia cardíaca durante la prueba de esfuerzo máximo para un sujeto del Grupo 4. En esta figura podemos destacar que los valores continuos de frecuencia cardíaca durante la fase de postest, en la que el ciclista aplicaba las dos técnicas aprendidas, son algo inferiores a los valores de la fase pretest. También este sujeto consigue aguantar el esfuerzo físico durante dos minutos más en la fase de postest respecto a la de pretest. Esta misma tendencia se puede observar, en general, en la mayoría de sujetos de los dos grupos (Grupo 2 y 4) que son entrenados en BIO FC, hecho que no se observa en el grupo control. De esta manera, y a modo de ejemplo, podríamos concluir que el entrenamiento psicológico en biorretroalimentación es efectivo para la mejora de la eficiencia cardíaca y del rendimiento fisiológico durante el ejercicio físico.

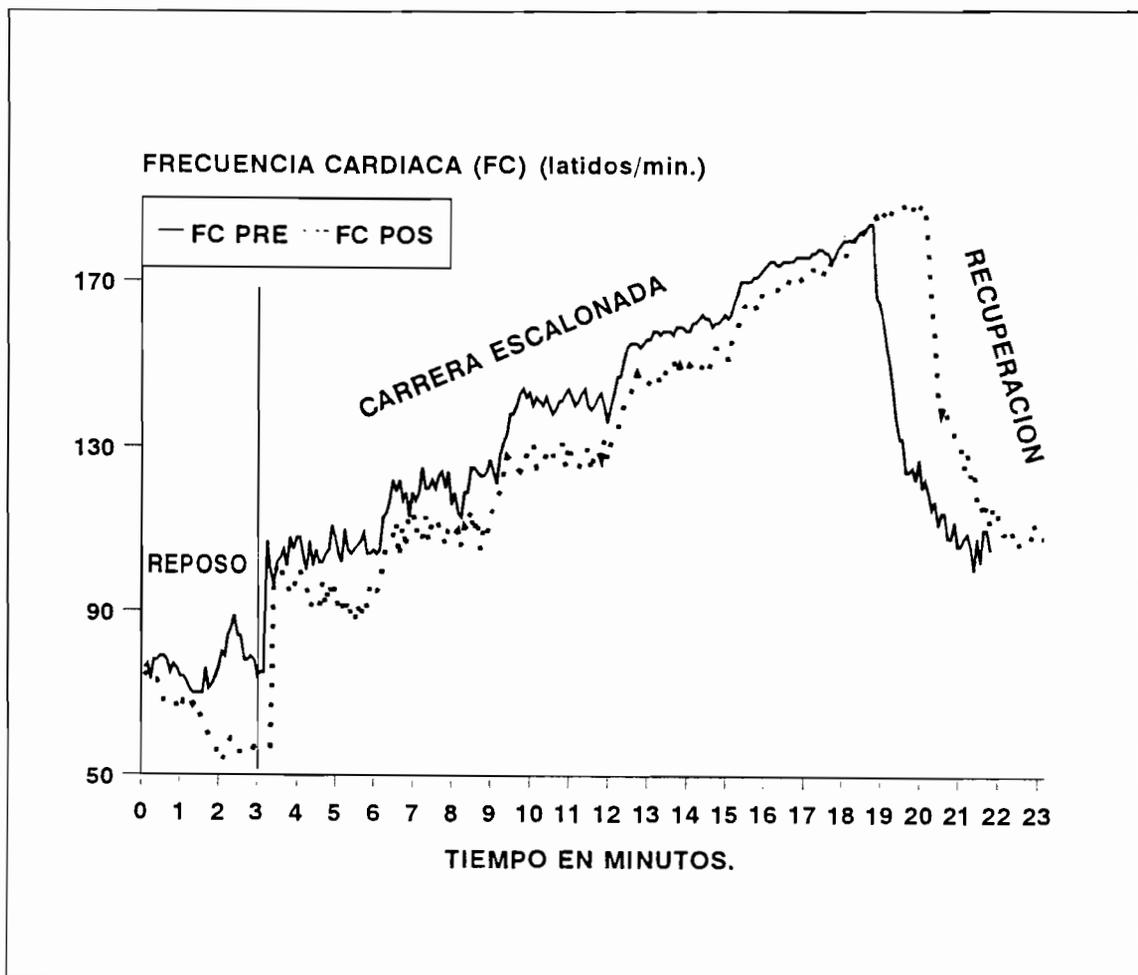


FIGURA 1: Curvas de los valores continuos de frecuencia cardíaca presentadas en dos pruebas máximas en cicloergómetro por un sujeto que aplicaba la técnica de BIO en la segunda prueba (POS)

En esta misma línea, la investigación con el segundo tipo de población -sujetos sedentarios, parte de la realización de pruebas de esfuerzo submáximo en tapiz rodante como réplica del estudio de Goldstein, Ross y Brady (1977). En aquel estudio, uno de los grupos experimentales de sedentarios que aplicaban BIO FC conseguía cierto control sobre esta variable, manteniéndolo una vez se les retiraba la retroalimentación. A partir de estos resultados, en nuestro Laboratorio se planteó el objetivo global de examinar los efectos del entrenamiento mediante BIO sobre el autocontrol de la FC durante la realización de una prueba de esfuerzo en tapiz rodante (Alvarez, 1994). Los sujetos eran universitarios sedentarios de sexo femenino, y el procedimiento consistía, básicamente, en realizar 8 sesiones a razón de 2 sesiones por semana. En cada sesión los sujetos realizaban 5 ensayos de 10 minutos, separados por 4 minutos de descanso, caminando sobre el tapiz a una velocidad de 4 Km/h y con una pendiente del 6 %. Los resultados obtenidos confirman la eficacia de la técnica de BIO FC para controlar la FC durante el esfuerzo moderado, coincidiendo con los resultados de otras investigaciones (Goldstein, Ross y Brady, 1977; Lo y Johnston, 1984; Perski, Tzankoff y Engel, 1985).

#### **B) Biorretroalimentación (BIO) de la sincronización entre frecuencia respiratoria (FR) y ritmo de trabajo en pruebas ergométricas de laboratorio (ritmo de pedaleo en cicloergómetro y ritmo del paso en tapiz rodante)**

En la literatura sobre BIO hay escasas investigaciones donde se evalúe la utilidad de esta técnica en el control de la FR con deportistas (Hatfield, Spalding, Mahon, Brody y Vaccaro, 1986). De todas formas, debido a las necesidades de los deportistas de autorregularse la respiración, nos hemos planteado una línea de investigación sobre entrenamiento en BIO FR. Una de las hipótesis de partida, planteada en estudios previos por Petruzzello, Landers y Salazar (1991), es que los individuos pueden modificar más fácilmente la respiración que la FC durante el ejercicio. Como es sabido, la respiración puede someterse a control voluntario, y es interesante averiguar si durante el ejercicio esta autorregulación respiratoria puede traducirse, por un lado, en una mejora del rendimiento fisiológico de los deportistas y, por otro, en que tengan una percepción del esfuerzo más ajustada a su propio rendimiento real.

Un estudio piloto realizado en nuestro Laboratorio ha consistido en analizar la presencia de diferentes patrones conductuales durante la realización de pruebas de esfuerzo máximo en cinta ergométrica, por parte de deportistas (especialistas en atletismo de medio-fondo y en triatlón) y de sedentarios (estudiantes universitarios) (Pintanel, 1994). Tales patrones se basan en la relación, y a veces sincronización de variables como: a) la FR registrada respiración a respiración; b) la frecuencia del paso, registrada a partir de un contacto situado en la plantilla del calzado del deportista; c) la FC, registrada cada cinco segundos, a partir de un pulsómetro telemétrico (*Sport-Tester*); y d) la percepción del esfuerzo, registrada a partir de la escala *Rating Perceived Exertion* (Borg, 1982). Para el estudio de patrones, los registros analógicos continuos de las distintas variables se transforman mediante tratamiento informático (respiración a respiración, paso a paso) en señales digitales. A continuación, se efectúa un análisis de las diferentes curvas de datos, a partir de su representación gráfica conjunta. El análisis visual nos permite detectar posibles patrones de relación entre las variables durante las diferentes etapas de prueba: calentamiento, prueba máxima y recuperación (ver Figura 2). En cuanto a la relación entre patrones, se ha observado que existe una cierta relación entre la frecuencia respiratoria y el ritmo del paso, y también entre la respiración y la percepción del esfuerzo.

De este modo, la investigación de laboratorio nos ha permitido asentar algunas bases metodológicas para la aplicación de la técnica de biorretroalimentación de la respiración, y constatar que puede ser una técnica que proporcione beneficios sustanciales en el rendimiento deportivo.

Una conclusión interesante de nuestros estudios es la adecuación de aplicar la BIO FR en los estadios iniciales de la realización de un ejercicio físico, a niveles moderados de actividad física. En cambio, puede que no sea tan eficaz autorregularse en etapas finales de las pruebas, cuando los sujetos ya están casi agotados y deben realizar una respiración forzada, ya que se da una demanda exclusivamente fisiológica.

La técnica de BIO de FR puede permitir a los sujetos la autorregulación de su esfuerzo, la demora en la aparición del agotamiento e, indirectamente, puede alargar más el tiempo de ejecución en las pruebas, aumentando, por lo tanto, el rendimiento deportivo.

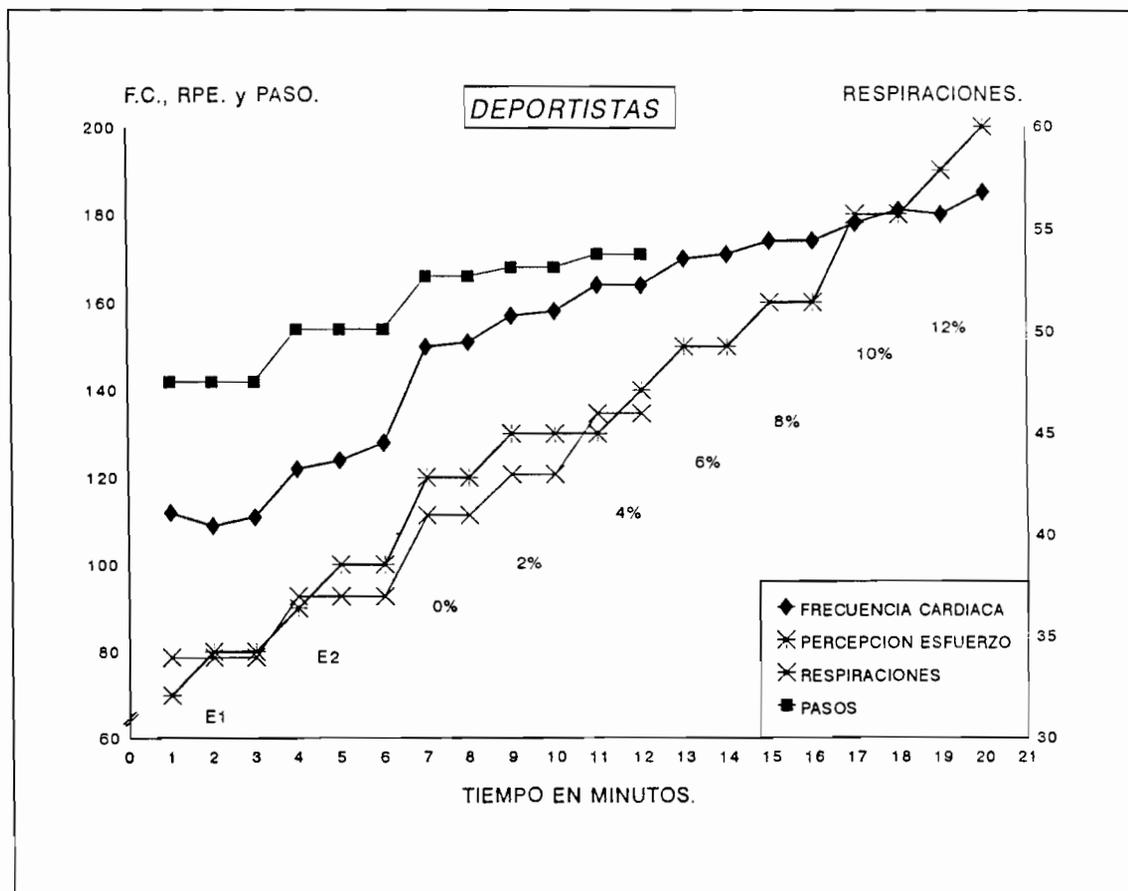


FIGURA 2: Comparación de patrones para el grupo de deportistas. Se representan los valores medios de frecuencia cardíaca, escala de percepción del esfuerzo (RPE), frecuencia respiratoria y frecuencia del paso, durante una prueba de esfuerzo máximo en el tapiz rodante.

**C) Biorretroalimentación electromiográfica (BIO EMG) en situaciones deportivas muy específicas y automatizadas**

En este apartado queremos ejemplificar una línea de investigación muy poco estudiada por los psicólogos del deporte -aunque la BIO se ha utilizado como técnica de reducción de la

ansiedad, tensión o activación precompetitivas-, que consiste en la aplicación de la BIO EMG durante el esfuerzo físico o durante la ejecución de un movimiento o gesto deportivo específico, con el objetivo de mejorar algún aspecto conductual. Algunos especialistas en fisiología del esfuerzo destacan tres áreas de interés práctico de la EMG (Monod y Flandrois, 1986): a) el estudio de los mecanismos neuromusculares elementales; b) el conocimiento y la mejora de los gestos deportivos; y c) la reeducación después de una lesión. A estos campos de interés cabría añadirles el estudio de la fatiga muscular a partir del registro EMG, tal como señalan algunas investigaciones que equiparan la técnica con otros índices reconocidos relacionados con la capacidad fisiológica de los deportistas, como son los niveles de lactato sanguíneo o la determinación del umbral anaeróbico (Hofmann, Leitner y Gaist, 1992; Moritani, Muro y Nagata, 1986). En este sentido, en nuestro Laboratorio pretendemos utilizar el registro EMG como una variable dependiente que complemente los registros cardiorrespiratorios que utilizamos habitualmente como referencia de la posible mejora fisiológica debida a la aplicación del entrenamiento psicológico. A la vez, una de las técnicas de entrenamiento que pretendemos evaluar es la BIO EMG de los músculos principales implicados en los ejercicios sobre los aparatos ergométricos. Su objetivo es el de proporcionar autocontrol al deportista para retrasar la aparición de la fatiga muscular.

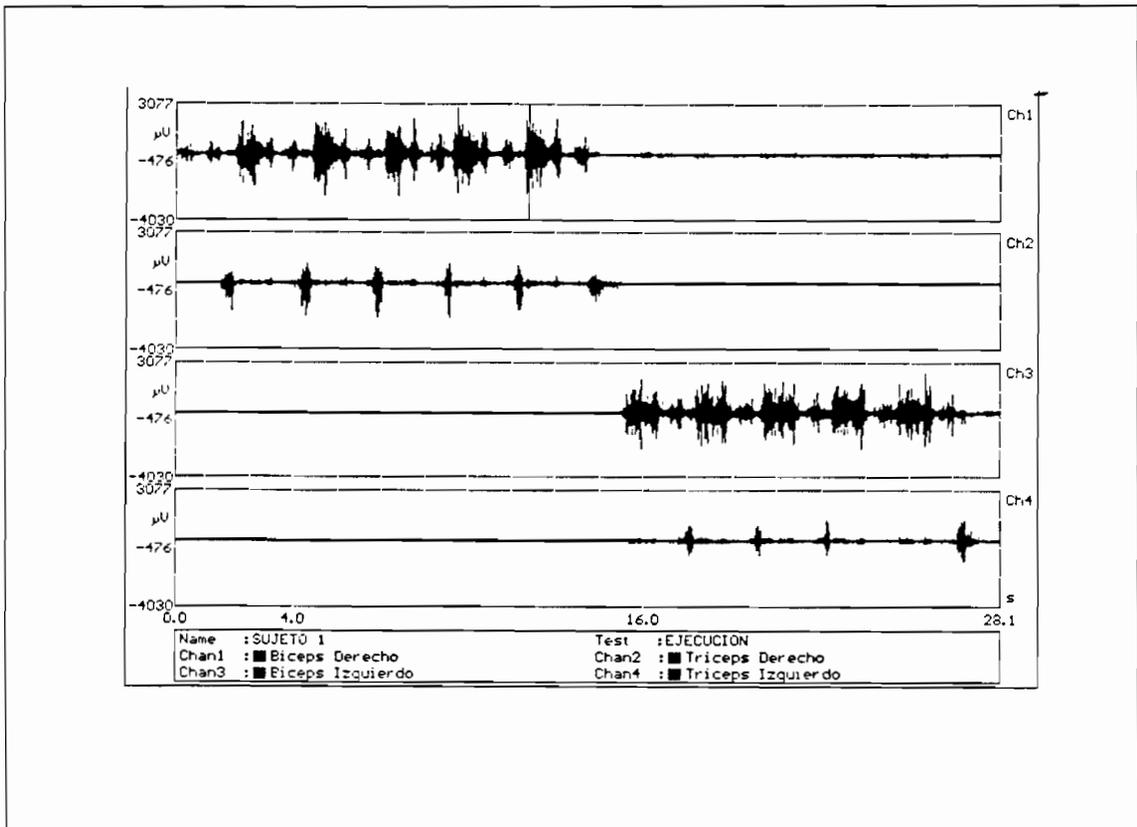


FIGURA 3: Registro electromiográfico correspondiente a la ejecución de 5 flexiones de cada brazo levantando una pesa de 1 Kg. En cada brazo se registra la actividad del bíceps (canales 1 y 3) y del tríceps (canales 2 y 4).

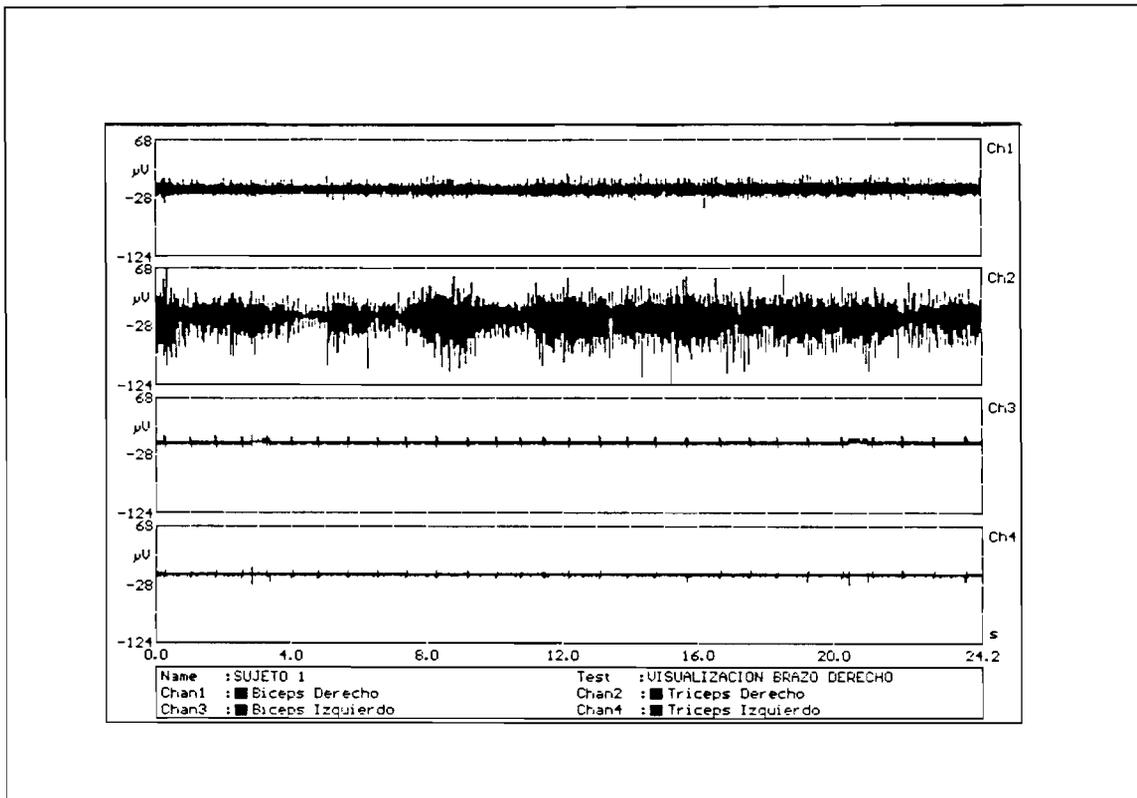


FIGURA 4: Registro electromiográfico correspondiente a la visualización de 5 flexiones con el brazo derecho, en ausencia de cualquier acción motora observable. Se registra la actividad en los dos brazos del bíceps y del tríceps (Brazo derecho: canales 1 y 2).

Otro campo de interés en el que estamos empezando a trabajar es el de la mejora de aspectos conductuales o de gestos técnicos deportivos como parte integrada en un programa de entrenamiento psicológico más amplio. En este sentido, la EMG de superficie permite la precisión en el tiempo del inicio y del fin de la activación de uno o varios músculos durante la ejecución de movimientos específicos. Actualmente, estamos elaborando el diseño de un estudio de laboratorio para mejorar el tiempo de reacción en salidas atléticas de velocidad, a partir de la BIO EMG de los principales músculos implicados en tal actividad. Otra técnica que se utiliza con el mismo propósito es la visualización de una ejecución real. Por ello, esta misma BIO EMG podría utilizarse como un indicador de la evolución el entrenamiento en visualización y del nivel de ejecución de la técnica, en ausencia de movimiento muscular real, de acuerdo con la hipótesis neuromuscular (Richardson, 1967).

Como estudio piloto, hemos comparado registros EMG durante la ejecución real y durante la visualización de un ejercicio estático muy específico: la realización de flexiones con el brazo levantando una pesa de 1 Kg. En la Figura 3 se puede observar la actividad electromiográfica correspondiente a la ejecución real de 5 flexiones, primero con el brazo derecho, y después con el izquierdo. Los electrodos colocados siempre registran la actividad en el bíceps y en el tríceps de ambos brazos. La Figura 4 corresponde a la visualización de 5 flexiones con el

brazo derecho, en ausencia de cualquier acción motora observable. En ella se puede observar una actividad inespecífica de los dos músculos registrados sólo en el brazo derecho -que es el que se visualiza-, mientras que no se observa ninguna actividad en el brazo izquierdo. Esta actividad EMG se puede presentar al sujeto mediante BIO, mientras realiza la visualización, con el objetivo de conseguir actividad EMG específica (sólo durante la visualización de los instantes de flexión) y así mejorar el entrenamiento en visualización.

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos hasta el momento en nuestro Laboratorio en cuanto a la eficacia de la biorretroalimentación (BIO) como técnica de entrenamiento psicológico son plenamente satisfactorios y prometedores. Los resultados más claros, por estar las investigaciones más avanzadas, corresponden a la BIO de la frecuencia cardíaca, indicando que la técnica resulta adecuada para potenciar el rendimiento fisiológico y retrasar la aparición de la fatiga en pruebas de esfuerzo ergométrico.

Asimismo, diferentes estudios previos sugieren que el rendimiento fisiológico y el retraso en la aparición de la fatiga también pueden verse favorecidos por:

- a) la BIO de la frecuencia respiratoria (FR), ya que es una variable que se puede someter fácilmente al control voluntario y que está directamente relacionada con la eficiencia cardiorrespiratoria;
- b) la retroalimentación de aspectos conductuales como la frecuencia del paso en tapiz rodante o de pedaleo en el cicloergómetro, que permite obtener patrones conductuales de sincronización con otras variables como la FR;
- c) la BIO EMG de la actividad de los músculos específicos implicados en el esfuerzo ergométrico, informando sobre la aparición de la fatiga muscular o sobre la adecuación biomecánica de los músculos en movimiento.

En sus inicios, otra línea de investigación indica la importancia de la BIO EMG para mejorar o corregir aspectos conductuales relacionados con situaciones deportivas específicas y automatizadas como es la salida atlética de velocidad. A su vez, la BIO EMG puede ser de gran utilidad para seguir y mejorar la evolución de un entrenamiento psicológico a partir de la técnica de visualización, al permitir informar sobre la presencia o ausencia de actividad muscular durante la misma.

También queremos resaltar la utilidad del registro de otras actividades motoras o conductuales que no se recogen o analizan mediante la EMG, siempre que se utilicen para dar bioinformación instantánea con el propósito de modificarlas. Por ejemplo, podría formar parte de un programa de entrenamiento psicológico, la corrección conductual de un movimiento incorrecto a través de su visionado, a tiempo real, por medio de un circuito cerrado de televisión o por medio de su procesamiento informático a partir de registros goniométricos o de detectores de movimiento. Así, por ejemplo, en algunos estudios pretendemos utilizar como técnica de entrenamiento la retroalimentación conductual del ritmo del paso ejecutado sobre un tapiz rodante o del ritmo de pedaleo en un cicloergómetro. Esta técnica puede ser útil cuando se pretende sincronizar el ritmo de trabajo (correr o pedalear) con alguna variable psicofisiológica que también se puede someter a BIO, como la FC o la FR.

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido realizado, en parte, gracias a una subvención del Plan Nacional de I+D (Programas Nacionales, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, DEP91-0757), y a una subvención de la *Comissió Interdepartamental per a la Recerca i la Innovació Tecnològica* (CIRIT, proyecto AR90-3749).

## Referencias

- Alvarez, M. (1994). *Biorretroalimentación durante el esfuerzo ergométrico: un estudio sobre la posibilidad de autocontrol de la frecuencia cardíaca*. Trabajo de investigación de Doctorado no publicado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Ariel, G.B. (1985). Biofeedback and biomechanics in athletic training. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.), *Biofeedback and Sports Science*, (pp. 107-145). New York: Plenum Press.
- Basmajian, J.V. (1989). *Biofeedback: Principles and practice for clinicians*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Blais, M.R. y Orlick, T. (1977). Electromyographic feedback as means of competitive anxiety control: problems and potential. En B. Kerr (Ed.), *Human performance and behavior*, (pp. 13-18). Banf: Scappis.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5, 377-381.
- Boutcher, S.H. y Landers, D.M. (1988). The effect of vigorous exercise on anxiety, heart rate, and alpha activity of runners and nonrunners. *Psychophysiology*, 25, 696-702.
- Burrill, K.C. (1990). *The effect of heart rate biofeedback training on heart rate lowering during progressive cyclic exercise and biathlon performance with junior level*. Tesis doctoral no publicada. Boston: Boston University.
- Capdevila, L. (1989). *Efectes de l'entrenament psicològic sobre l'estrès de competició i sobre l'eficiència cardiorespiratòria en atletes mig-fondistes*. Tesis Doctoral no publicada. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Capdevila, L. y Cruz, J. (1992). Análisis de series temporales aplicado al estudio de la emoción y de la conducta en un atleta. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 45, 103-111.
- Capdevila, L., Cruz, J. y Viladrich, C. (1992). Conducta deportiva en diseños de grupo: análisis de series temporales. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 45, 453-460.
- Capdevila, L., Blasco, T., Pintanel, M., Rodes, G., Valiente, L., Villamarín, F. y Cruz, J. (1993) Assessment methodology on the effectiveness of Psychological training. En S.Serpa, J.Alves, V.Ferreira y A. Paula-Brito (Eds.). *Proceedings VIII World Congress of Sport Psychology* (pp. 439-442). Lisboa: I.S.S.P.
- Carrobes, J.A.I. (1981). Registros psicofisiológicos. En R. Fernández Ballesteros y J.A.I. Carrobes (Eds.) *Evaluación conductual. Metodología y aplicaciones*. (pp. 364-406). Madrid: Pirámide.
- Clemens, W.J. y Shattock, R.J. (1979) Voluntary heart rate control during static muscular effort. *Psychophysiology*, 4, 327-338.
- Daniels, F.S. y Landers, D.M. (1981). Biofeedback and shooting performance: a test of disregulation and systems theory, *Journal of Sports Psychology*, 4, 271-282.
- Davis, M., McKay M. y Eshelman, E.R. (1985). *Técnicas de autocontrol emocional*. Barcelona: Martínez Roca.
- Gannon, T., Landers, D.M., Kubitz, K., Salazar, W. y Petruzzello, S. (1992). An analysis of temporal electroencephalographic patterning prior to initiation of the arm curl. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1, 87-100.
- Gans, D.S. (1985). Biofeedback and sports medicine. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.) *Biofeedback and Sports Science*. (pp. 147-156). New York: Plenum Press.
- Goldstein, D.S., Ross, R.S. y Brady, J.V. (1977). Biofeedback heart rate during exercise. *Biofeedback and Self-Regulation*, 2, 107-126.
- Hatfield, B.D., Spalding, T., Mahon, T., Brody, E.B., y Vaccaro, P. (1986). Ventilatory economy as a function of attentional self-focus during treadmill running. *Psychophysiology*, 23, 440-441.
- Hanin, Y. (1980). A study of anxiety in sports. En W.F. Straubb (Ed.), *Sport Psychology: an analysis of athlete behavior*, (pp. 236-249). New York: Movement.
- Hofmann, P., Leitner, H. y Gaist, G. (1992). Heart rate threshold, lactate turn point and anaerobic threshold determination by electromyography. *Exercise Physiology*, 33, 13-20.
- Landers, D.M. (1980). The arousal performance relationship revisited. *Research Quarterly*, 81, 77-90.
- Landers, D.M. (1985). Psychophysiological assessment and biofeedback, applications for athletes in closed skill sports. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.), *Biofeedback and sports science*, (pp. 63-105). New York: Plenum Press.
- Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Salazar, W., Crews, D.J., Kubitz, K.A., Gannon, T.M. y Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 123-129.
- Lo, Ch.R. y Johnston, D.W. (1984). Cardiovascular feedback during dynamic exercise. *Psychophysiology*, 21, 199-206.
- Monod, H. y Flandrois, R. (1986), *Manual de Fisiología del deporte*. Barcelona-México: Masson.
- Moritani, T.; Muro, M. y Nagata, A. (1986), Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 60, 1179-1185.
- Moses, J., Clemens, W.J. y Brener, J. (1986) Bidirectional voluntary heart rate control during static muscular exercise: metabolic and respiratory correlates. *Psychophysiology*, 5, 510-520.
- Nideffer, R.M. (1976). *The inner athlete: mind plus muscle for winning*. New York: Crowell.
- Palmi, J. (1991). *La imatge (imagery) com a tècnica i programa d'intervenció psicològica en l'esport*. Tesis doctoral no publicada. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Perski, A. y Engel, T.B. (1980) The role of behavioral conditioning in the cardiovascular adjustment exercise. *Biofeedback and Self-regulation*, 1, 91-104.
- Perski, A., Tzankoff, S.P., y Engel, T.B. (1985). Central control of cardiovascular adjustments to exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58, 431-435.
- Petruzzello, S.J., Landers, D.M. y Salazar, W. (1991).

- Biofeedback and sport/exercise performance: applications and limitations, *Behavior Therapy*, 22, 379-392.
- Pineal, J. y Schultz, T. (1978). Effect of antecedent muscle tension levels on motor behavior. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10, 177-182.
- Pintanel, M. (1994). *Patrons respiratoris i percepció de l'esforç d'esportistes i sedentaris, en taps rodant*. Trabajo de investigación de doctorado no publicado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Richardson, A. (1967). Mental practice: a review and discussion. Parte I. *Research Quarterly*, 38, 95-107.
- Sime, W.E., (1985). Physiological Perception: The key to peak performance in athletic competition. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.), *Biofeedback and sports science*, (33-62). New York: Plenum Press.
- Valiente, L. (1993). *Biorretroalimentació de la freqüència cardíaca en proves d'esforç amb cicloergòmetre*. Trabajo de investigación de Doctorado no publicado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Vealey, R.S. (1988). Future directions in psychological skills training. *Sport Psychologist*, 2, 318-336.
- Vila, J. (1980). Biofeedback y auto-regulación. *Análisis y Modificación de la Conducta*, 6, 11-12.
- Wolf, S.L. (1985). Biofeedback applications in rehabilitation medicine: implications for performance. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.), *Biofeedback and Sports Science*, (pp. 159-180). New York: Plenum Press.
- Zainchkowsky, L.D. y Funchs, C. (1989). Biofeedback-assisted self-regulation for stress management in sports. En D. Hackfort y C.D. Spielberg (Eds.), *Anxiety in sports: an international perspective*, (pp. 235-245). New York: Hemisphere P.C.
- Ziegler, S.G., Klinzing, J. y Williamson, K. (1982). The effects of two stress management training programs on cardiorespiratory efficiency. *Journal of Sport Psychology*, 4, 280-289.