

# Beneficios de la biorretroalimentación sobre la eficiencia cardíaca en ciclistas

LOURDES VALIENTE I BARROS  
LLUÍS CAPDEVILA I ORTÍS  
JAUME CRUZ I FELIU

Laboratori de Psicologia de l'Esport.  
Àrea de Psicologia Bàsica. Departament  
de Psicologia de l'Educació.  
Facultat de Psicologia.  
Universitat Autònoma de Barcelona.  
Barcelona. España.

CORRESPONDENCIA:

Lourdes Valiente i Barros.  
Àrea de Psicologia Bàsica. Universitat Autònoma de  
Barcelona. Apartado de Correos 29. 08193  
Bellaterra (Barcelona, España).  
Tel: 93 581 11 04 – Fax. 93 581 23 24.  
e-mail: lvaliente@seneca.uab.es

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 1999; 130: 11-24

**RESUMEN.** El estudio se ha realizado con treinta y tres ciclistas de categoría juvenil de la Federación Catalana de Ciclismo. Se evalúa la efectividad de dos técnicas de entrenamiento psicológico —la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca y la sincronización de la frecuencia respiratoria con el ritmo de pedaleo—, sobre la mejora de la eficiencia cardíaca de ciclistas, durante pruebas ergométricas de esfuerzo máximo. La muestra se ha dividido en un grupo control y tres grupos experimentales: grupo BIO entrenado en la técnica de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca, el grupo RES entrenado en la sincronización de la frecuencia respiratoria y el ritmo de pedaleo, y el grupo BIR entrenado en ambas técnicas. Todos los ciclistas han completado tres fases: fase de pre-test, fase de entrenamiento y fase de post-test. Los resultados indican que los sujetos entrenados en las diferentes técnicas psicológicas mejoran su eficiencia cardíaca, ya que muestran valores inferiores de frecuencia cardíaca en la fase post-test donde aplicaron las técnicas aprendidas respecto a la fase de pre-test.

**PALABRAS CLAVE:** biorretroalimentación, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria.

**SUMMARY.** This study was carried out with thirty-three cyclist from the junior division of the Catalanian Cycling Federation. The effectiveness of two psychological training techniques —biofeedback of the heart rate and synchronisation of respiratory rate with the pedalling rhythm— are evaluated based on the improvement of cardiac efficiency of the cyclist during ergometric test at maximum effort. The study sample was divided into a control group and three experimental groups: the BIO group was trained in the biofeedback of heart rate technique, the RES group was trained in the synchronisation of respiratory rate with pedalling rhythm technique, and the BIR group was trained in both techniques. All the cyclists completed three phases: the pre-test phase, the training phase and the post-test phase. The results indicate that the subjects trained in the different psychological techniques improve their cardiac efficiency. They show, lower heart rate values in the post-test phase, where they applied the techniques learned, compared tot the pre-test phase.

**KEY WORDS:** biofeedback, heart rate, respiratory rate.

## INTRODUCCION

La práctica deportiva es, cada vez más, una actividad al alcance de mucha gente. Los medios de comunicación nos hacen vivir experiencias entrañables con el deporte, ocasionando que los deportistas se conviertan en ídolos de muchos espectadores. En parte, esto conlleva que un número creciente de jóvenes practiquen deporte de competición y quieran llegar a ser deportistas de élite. Sin embargo, las tensiones extremas a las que se expone un deportista durante la práctica de un ejercicio físico intenso, las exigencias de preparación de la competición, el estrés psicológico de una competición relevante, y muchos otros aspectos, hacen necesaria la intervención y asesoramiento de diferentes profesionales especializados en disciplinas ligadas de alguna manera con el deporte, como médicos y fisiólogos, preparadores físicos y psicólogos. El entrenamiento psicológico en el deporte, consiste en que el deportista aprenda, practique y aplique durante los entrenamientos y competiciones, una serie de estrategias y técnicas psicológicas que le permitirán un mayor control y bienestar personal, así como la mejora de su rendimiento. Paralelamente al dominio de estas técnicas psicológicas implicadas en la práctica deportiva de competición, existe un factor imprescindible para el rendimiento deportivo que es el conocimiento y control de ciertas funciones propias del organismo. Muchas veces, el hecho de que el deportista sepa conocer su estado real de fatiga muscular, cardiovascular y respiratoria, así como regular sus niveles de tensión física, y los latidos de su corazón, pueden ayudarlo en su rendimiento.

Una de las técnicas psicológicas que puede ayudar al deportista a conocer y controlar sus funciones fisiológicas es la biorretroalimentación.<sup>10, 38, 40</sup> La biorretroalimentación ha sido y es una técnica muy usada en el campo de la salud como técnica conductual terapéutica. La contribución de la biorretroalimentación en la mejora de diferentes trastornos clínicos como hipertensión, migrañas, cefaleas, trastornos musculares, entre otros<sup>11</sup> es un tema de gran interés para los investigadores en psicología de la salud, siendo los trastornos cardiovasculares una de las líneas que más investigaciones han generado. En algunos de los trabajos sobre trastornos cardiovasculares se han estudiado los beneficios clínicos de la biorretroalimentación en pacientes hipertensos.<sup>29, 30, 18</sup> Para ello entrenaban a los sujetos a atenuar su frecuencia cardíaca mediante la biorretroalimentación durante la realización de ejercicio físico estático y dinámico. En cambio, en el ámbito deportivo, existen pocos trabajos que estudien los efectos del entrenamiento en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca. De estos estudios destacan por un lado, las investiga-

ciones realizadas con individuos sanos y/o deportistas, con el fin de probar que las capacidades aeróbicas y anaeróbicas podrían ser mejoradas a través del entrenamiento en biorretroalimentación.<sup>25, 33, 40</sup> Y por otro lado, los estudios de Landers y sus colaboradores<sup>25, 34</sup> en deportes de precisión, con el objetivo de regular el nivel de activación de los deportistas. Sin embargo, desde el punto de vista del rendimiento fisiológico, son los trabajos realizados en pacientes con trastornos coronarios los que pueden sugerir las líneas a seguir para el estudio de la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca en deportistas y su posible aplicación en situaciones de entrenamiento y competición con ejercicio dinámico, dado que los estudios de Landers se han desarrollado en situación de ejercicio estático.

Los estudios de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca en poblaciones con trastornos coronarios se han realizado con ejercicio dinámico de baja y moderada intensidad, tanto en cicloergómetro como en cinta ergométrica, apuntando los resultados a que los sujetos consiguen controlar y disminuir la frecuencia cardíaca cuando reciben biorretroalimentación. Así pues, el hecho de que la biorretroalimentación sea una técnica eficaz para mejorar la eficiencia cardíaca de pacientes coronarios<sup>29, 30, 18</sup> y de adultos sedentarios<sup>1, 19, 32, 40</sup> nos ha hecho plantear la posibilidad de que dicha técnica pueda beneficiar y potenciar la eficiencia cardíaca de deportistas durante la realización de ejercicio físico.

Partiendo de los estudios antecedentes sobre eficiencia cardíaca y biorretroalimentación (ver Tabla I), así como de las recomendaciones de Perruzzello, Landers y Salazar (1991)<sup>34</sup> sobre el futuro de las investigaciones en biorretroalimentación y deporte, en el presente trabajo se estudiarán: a) los beneficios del entrenamiento en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca sobre la eficiencia cardíaca de ciclistas durante la realización de ejercicio físico intenso (superior al 70% de la frecuencia cardíaca máxima); b) los beneficios de la técnica de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca comparados con los beneficios del entrenamiento en control de la respiración, con el fin de contrastar los efectos de la biorretroalimentación sobre la eficiencia cardíaca con otra técnica cognitivo-conductual.<sup>34</sup> En el estudio que se presenta a continuación se ha considerado que la eficiencia cardíaca es la capacidad del corazón de bombear suficiente cantidad de sangre para compensar el retorno venoso y los requerimientos metabólicos de los tejidos corporales, con una baja frecuencia cardíaca durante la realización de un esfuerzo físico intenso.<sup>41</sup> Así pues, la mejora de la eficiencia cardíaca se constatará a partir de la observación de unos valores inferiores de frecuencia cardíaca (un menor desgaste energético o

metabólico), al comparar dos pruebas ergométricas idénticas en cuanto a la intensidad de trabajo o esfuerzo. Por lo tanto, la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca resultará eficaz para la mejora de la eficiencia cardíaca si se acompaña de una reducción en los valores de frecuencia cardíaca.

## METODO

### Sujetos

En la presente investigación han participado treinta y tres ciclistas juveniles masculinos, con una edad media de 16.6

**Tabla I** Resumen de los estudios sobre biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (FC) aplicada durante la realización de ejercicio físico.

Autor	Sujetos	Diseño	Tipo de ejercicio	Variable cardíaca	Resultados
Goldstein, Ross y Brady (1977)	Sedentarios (n=10)	2 grupos 10 sesiones	Cinta ergométrica Dinámico Bajo-moderado	Disminución FC	Diferencias estadísticamente significativas entre grupos
Clemens y Shattock (1979)	Sedentarios (n=8)	1 grupo	Contracción muscular Estático 10%-30% y 50% contracción máxima	Control bidireccional de la FC	Diferencias estadísticamente significativas
Perski y Engel (1980)	Sedentarios/as (n=10)	2 grupos 7-10 sesiones	Cicloergómetro Dinámico 50% FC máxima	Disminución FC	Diferencias estadísticamente significativas entre grupos
Lo y Jonhston (1984a)	Sedentarios (n=36)	3 grupos 4 sesiones	Cicloergómetro Dinámico Bajo	Disminución FC	No diferencias relevantes
Lo y Jonhston (1984b)	Sedentarios (n=36)	3 grupos 4 sesiones	Cicloergómetro Dinámico Bajo	Disminución FC	Resultados favorables al tratamiento de angina de pecho
Perski, Tzankoff y Engel (1985)	Deportistas (n=10)	2 grupos 4 sesiones	Cicloergómetro Dinámico 65% FC máxima	Disminución FC	Diferencias estadísticamente significativas entre grupos
Fredrickson y Engel (1985)	Hipertensos (n=12)	2 grupos 6 sesiones	Cicloergómetro Dinámico 33 watos (bajo)	Disminución FC	Diferencias estadísticamente significativas entre grupos
Moses, Clemens y Brener (1986)	Sedentarios (n=20)	2 grupos 4 sesiones	Contracción muscular Estático 10%-30% y 50% contracción máxima	Control bidireccional de la FC	Control en aumento FC, no en disminución
Burrill (1990)	Biatletas (esquí fondo y tiro precisión) (n=4)	Diseño caso único	Cinta ergométrica Protocolo de Bruce Alto	Disminución FC	Control en ejercicio dinámico (esquí) y estático (tiro)
Álvarez (1994)	Sedentarias (n=10)	3 grupos 8 sesiones	Cinta ergométrica Dinámico Bajo-moderado	Disminución FC	Diferencias estadísticamente significativas en alguna sesión
Valiente y Capdevila (1994)	Ciclistas y sedentarios (n=8)	Diseño caso único	Dinámico Moderado-alto (50%-75% y 100% FC máxima)	Disminución FC	Diferencias entre fases experimentales

años (DT=0.96). Todos los sujetos del estudio son ciclistas entrenados. Se consideró ciclistas entrenados a aquéllos que realizaban un mínimo de seis horas por semana de entrenamiento aeróbico durante un período mínimo de tres meses antes del estudio.

### Instrumentos

- A) Cicloergómetro computerizado marca Monark, modelo Ergomedic 829-E, utilizado para la realización de las pruebas de esfuerzo.
- B) Transductor con electrodos de pecho, incorporado y sincronizado con el cicloergómetro, que permite el registro de la frecuencia cardíaca a intervalos constantes de tiempo. Utilizado para el registro de la frecuencia cardíaca durante las pruebas de esfuerzo.
- C) Pulsómetro telemétrico marca Sport-Tester, modelo PE-3000, que permite el registro y almacenamiento de la frecuencia cardíaca a intervalos constantes de tiempo. Utilizado para el entrenamiento en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca.
- D) Aplicación informática desarrollada con lenguaje Clipper. Esta aplicación permite el almacenamiento y la monitorización a tiempo real de los parámetros registrados con el cicloergómetro, en un ordenador compatible PC. La monitorización permite la posibilidad de utilizar biorretroalimentación visual y/o auditiva de la frecuencia cardíaca.<sup>38,39</sup>

### Procedimiento

Tal como se puede observar en la Tabla II, el diseño experimental utilizado en esta investigación, consta de tres fases generales:

- A) *Fase pre-test*. Cada ciclista de la investigación realizaba una prueba de esfuerzo máximo con las siguientes etapas (ver Figura 1):
- Etapas de reposo:** el ciclista estaba tres minutos sentado en el cicloergómetro sin pedalear.
  - Etapas de carrera escalonada:** el ciclista pedaleaba a 60 revoluciones por minuto (rpm), se aumentaba la carga de trabajo a razón de 50 vatios cada tres minutos hasta la extenuación del ciclista, o hasta la incapacidad de mantener las 60 rpm.
  - Etapas de recuperación:** constaba de un minuto de pedaleo sin carga de trabajo a 60 rpm, más dos minutos sin pedalear.

Durante toda la prueba de esfuerzo, se registraba la frecuencia cardíaca cada cinco segundos como medida de eficiencia cardíaca, y el tiempo total de la prueba como medida de rendimiento físico.

- B) *Fase de entrenamiento*. Los ciclistas fueron distribuidos en cuatro grupos: tres experimentales y uno control. El entrenamiento variaba en función del grupo.

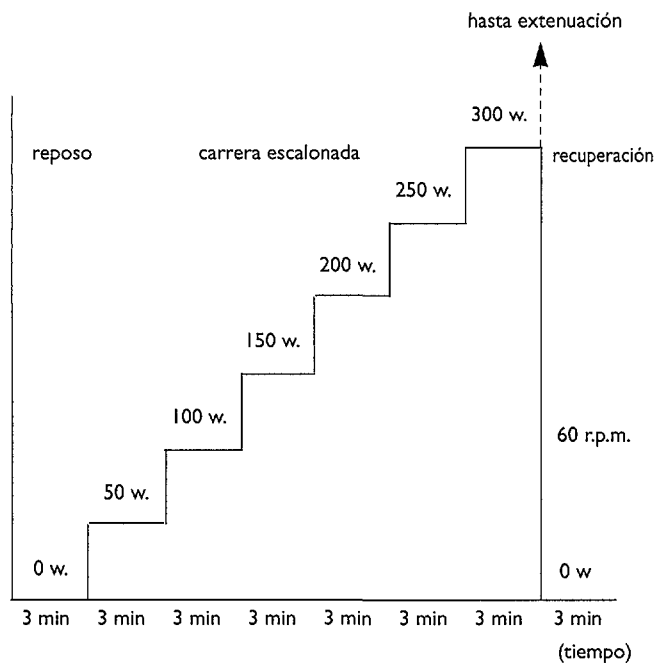
**Tabla II**

Fases generales del procedimiento de investigación.

Fases	
Pre-Test	<b>PRUEBA DE ESFUERZO MAXIMO</b> 1. Registro de la frecuencia cardíaca (eficiencia cardíaca) 2. Registro del tiempo de la prueba (rendimiento)
Entrenamiento	<b>GRUPOS EXPERIMENTALES</b> A. Entrenamiento psicológico (durante reposo y ejercicio): Grupo BIO. Biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca Grupo RES. Control de la respiración Grupo BIR. Biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca y control de la respiración. B. Entrenamiento físico (intensidad moderada de 150 vatios)  <b>GRUPO CONTROL</b> A. Entrenamiento físico (intensidad moderada de 150 vatios)
Post-test	<b>PRUEBA DE ESFUERZO MAXIMO</b> 1. Registro de la frecuencia cardíaca (eficiencia cardíaca) 2. Registro del tiempo de la prueba (rendimiento)  <p style="text-align: center;"><i>Aplicación de las técnicas psicológicas en los grupos experimentales</i></p>

**Figura 1**

Esquema de la prueba de esfuerzo máximo utilizada en la presente investigación. (Nota: w = vatios; rpm = revoluciones por minuto –de pedaleo–; min = minutos)



a) **Grupo Control (CON).** Este grupo estaba formado por nueve ciclistas ( $n=9$ ). Todos ellos debían realizar seis sesiones de entrenamiento físico. Este consistía en colocar su bicicleta sobre el rodillo de calentamiento, con un desarrollo –19/52–, que simulaba una resistencia similar a 150 vatios de carga. De esta manera debían pedalear a un ritmo suave y constante durante quince minutos. Este grupo no realizaba ningún entrenamiento psicológico.

b) **Grupo Biorretroalimentación (BIO).** Este grupo estaba formado por ocho ciclistas ( $n=8$ ). Todos ellos realizaban un entrenamiento físico idéntico al realizado por los ciclistas del grupo CON. El entrenamiento psicológico de este grupo era la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca. Todos los sujetos, durante seis minutos de reposo y durante quince minutos de ejercicio físico en bicicleta, debían intentar disminuir los valores de frecuencia cardíaca que veían a través del reloj del pulsómetro telemétrico.

c) **Grupo Respiración (RES).** Este grupo estaba formado por ocho ciclistas ( $n=8$ ). Todos ellos realizaban un entrenamiento físico idéntico al realizado por los ciclistas del grupo CON. El entrenamiento psicológico de este

grupo era el control de la respiración. Todos los sujetos de este grupo, durante seis minutos de reposo y durante quince minutos de ejercicio físico en bicicleta, debían intentar sincronizar la frecuencia respiratoria con el ritmo de pedaleo. Por ejemplo: cada tres pedaladas una inspiración y cada tres pedaladas una expiración.

d) **Grupo Biorretroalimentación y Respiración (BIR).** Este grupo estaba formado por ocho ciclistas ( $n=8$ ). Todos ellos realizaban un entrenamiento físico idéntico al realizado por los ciclistas del grupo CON. El entrenamiento psicológico de este grupo era la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca y el control de la respiración. Todos los sujetos de este grupo, durante seis minutos de reposo y durante quince minutos de ejercicio físico en bicicleta, debían realizar el mismo entrenamiento que los sujetos del grupo BIO y RES.

C) **Fase post-test.** Esta fase era idéntica a la fase pre-test, en cuanto al tipo de prueba de esfuerzo realizada por los ciclistas y en cuanto a la recogida de variables (frecuencia cardíaca y tiempo total de prueba de esfuerzo). La diferencia con la fase pre-test era que los ciclistas de los grupos experimentales debían aplicar durante toda la prueba de esfuerzo la estrategia psicológica aprendida y entrenada en la fase de entrenamiento.

## RESULTADOS

Los resultados sobre eficiencia cardíaca –medida a partir de los valores de frecuencia cardíaca– se han evaluado a partir de dos tipos diferentes de tratamiento estadístico. El primer tipo de análisis es el más convencional, basado en el análisis de la varianza a partir de los valores medios de frecuencia cardíaca. El otro tratamiento estadístico pretende contemplar la totalidad de los datos registrados y su secuenciación en el tiempo, basándose en el análisis de series temporales.<sup>8,9</sup>

### Análisis de la varianza de la eficiencia cardíaca

Dicho análisis se ha realizado observando los cambios de frecuencia cardíaca (en pulsaciones/minuto) entre ambas fases experimentales (pre-test –antes del entrenamiento psicológico– y post-test –después del entrenamiento psicológico–) para cada etapa de la prueba de esfuerzo (reposo, carrera escalonada y recuperación) y para cada carga de trabajo de la prueba de esfuerzo que era común a todos los ciclistas (50, 100, 150, 200, 250 y 300 vatios), en los cuatro grupos de sujetos de la investigación (ver Tabla III).

Tabla III

Medias (M) y desviaciones típicas (DT) de la diferencia de los valores absolutos de frecuencia cardíaca de la fase pre-test menos los de la fase post-test, para cada grupo y etapa de la investigación. Los valores positivos significan un descenso de la frecuencia cardíaca en la fase post-test respecto a la pre-test, y los valores negativos significan un aumento de la frecuencia en la fase post-test respecto a la fase pre-test. Se especifican los resultados del análisis de la varianza (N.S. = no significativo)

ETAPAS	CON n = 9		BIO n = 8		RES n = 8		BIR n = 8		F	P
	M	DT	M	DT	M	DT	M	DT		
Reposo	3,44	7,26	8,13	9,95	-0,38	9,26	12,25	7,67	3,32	0,033
50 vatios	1,33	9,81	3,13	10,2	0,38	8,55	5,88	9,89	0,51	N.S.
100 vatios	-2,22	10,31	2,25	4,13	-1,00	7,17	6,88	9,23	2,06	N.S.
150 vatios	-4,89	9,41	2,75	6,76	0,38	6,07	5,63	8,94	2,67	0,066
200 vatios	-2,78	8,69	0,63	7,69	1,00	3,7	4,25	6,23	1,47	N.S.
250 vatios	0,89	8,55	0,87	5,87	3,25	3,62	4,25	5,47	0,62	N.S.
300 vatios	1,44	6,09	-0,5	5,45	0,71	6,73	2,25	4,77	0,64	N.S.
Recuperación	2,56	8,26	-8,5	15,1	2,38	16,35	25	10,94	1,45	N.S.

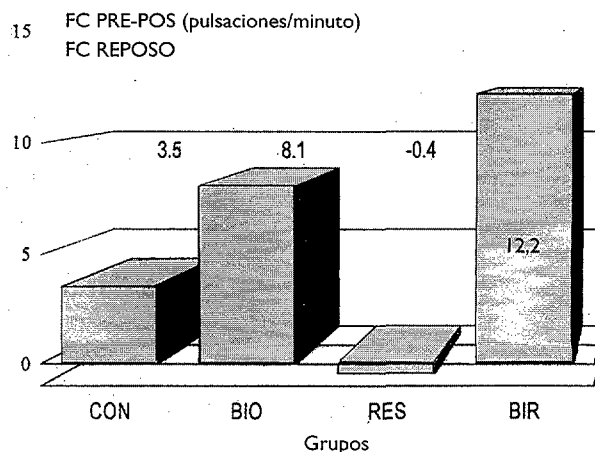
Un primer resultado a destacar es que sólo se observan diferencias estadísticamente significativas en la etapa de reposo ( $P = 0.033$ ). Y diferencias tendientes a la significación en la carga de 150 vatios ( $P = 0.066$ ), que era la carga en que los ciclistas se entrenaban tanto física como psicológicamente (ver Tabla III). En dicha tabla también se puede comprobar que existen valores  $F$  más tendientes a la significación en las cargas de 100 vatios y 200 vatios, que son las cargas de trabajo más cercanas a la usada en los entrenamientos; a pesar de ello, las diferencias de frecuencia cardíaca no son significativas.

Según estos resultados, se analizarán más cuidadosamente las diferencias de frecuencia cardíaca entre los cuatro grupos, en la etapa de la prueba de esfuerzo que existe significación estadística –etapa de reposo– (ver Figura II). En esta figura se puede observar que las diferencias de frecuencia cardíaca entre las pruebas de esfuerzo de las fases pre-test y post-test, son más elevadas en los dos grupos entrenados en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (BIO y BIR). Es decir, los ciclistas entrenados en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca consiguen disminuir 12 pulsaciones/minuto (grupo BIR) y 8 pulsaciones/minuto (grupo BIO) en la prueba de esfuerzo de la fase post-test respecto a la fase pre-test. Para analizar las diferencias entre los grupos se ha aplicado la prueba de contrastes de Scheffé; los resultados de dicha prueba indican que

las diferencias se dan entre el grupo RES (control de la respiración) y el grupo BIR (biorretroalimentación y control de la respiración), con un grado de significación inferior a 0.05.

Figura II

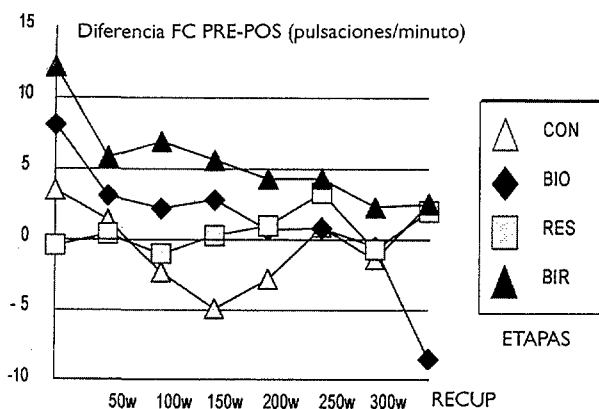
Diferencia de frecuencia cardíaca (FC), en pulsaciones/minuto, de la fase pre-test (PRE) menos la fase post-test (POS) para los cuatro grupos, en la etapa de reposo. Los valores positivos significan un descenso de la frecuencia cardíaca en la fase post-test y los valores negativos un aumento de la frecuencia cardíaca



Otro resultado a destacar es que aunque sólo existen disminuciones de frecuencia cardíaca estadísticamente significativas en los grupos entrenados en biorretroalimentación (BIO y BIR) en la etapa de reposo, se puede comprobar que hay cierta tendencia a la disminución de la frecuencia cardíaca en dichos grupos a lo largo de toda la carrera escalonada de la prueba de esfuerzo, (ver Tabla II y Figura III).

Figura III

Diferencias de la frecuencia cardíaca (FC) entre las dos fases experimentales en todas las etapas de la prueba máxima de esfuerzo para los cuatro grupos. Valores positivos significan una disminución de la frecuencia cardíaca en la fase post-test (POS) respecto a la fase pre-test (PRE), y valores negativos un aumento de la frecuencia cardíaca en la fase post-test respecto a la pre-test (Nota: w = vatios).



En la Figura III se puede comprobar cómo los dos grupos entrenados en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (BIO y BIR), muestran una disminución de la frecuencia cardíaca en casi todas las cargas de trabajo (valores positivos de diferencia de frecuencia cardíaca pre-test menos post-test). En cambio, el grupo entrenado en control de la respiración (RES) no muestra cambios importantes de frecuencia cardíaca entre las dos fases experimentales, puesto que los valores de diferencia de frecuencia cardíaca pre-test menos post-test fluctúan alrededor de 0. Referente al grupo control (CON), éste presenta una evolución irregular, tanto con aumentos como con disminuciones de la frecuencia cardíaca, es decir, valores positivos y negativos de diferencia de frecuencia cardíaca pre-test menos post-test.

Un tercer resultado encontrado con el análisis de la varianza, es que las diferencias de frecuencia cardíaca entre las pruebas de esfuerzo de la fase pre-test y post-test son inferiores a medida que aumenta la carga de trabajo (ver Figura III). Es decir, parece ser que a mayor intensidad de trabajo, me-

nor es el control y disminución de la frecuencia cardíaca a partir de la biorretroalimentación por parte de los sujetos entrenados en dicha estrategia psicológica.

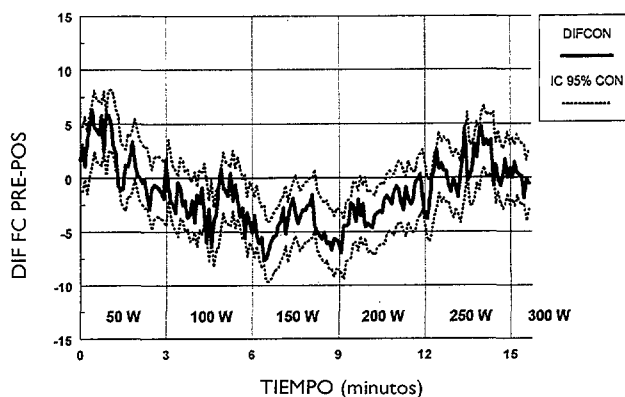
### Análisis de series temporales de la eficiencia cardíaca

En estudios anteriores,<sup>6,9</sup> se ha constatado que el tratamiento estadístico basado en el análisis de series temporales es una herramienta que puede permitir analizar los efectos del entrenamiento psicológico sobre la evolución temporal de la frecuencia cardíaca. Esta aplicación estadística permite la comparación de las curvas de frecuencia cardíaca continua intrasujeto, entre-sujetos y entre grupos, en este último caso a partir de las curvas medias de frecuencia cardíaca de los diferentes sujetos de un grupo. De esta manera, el análisis de series temporales resulta una técnica adecuada para evaluar los efectos de una intervención psicológica sobre variables psicofisiológicas medidas a intervalos constantes de tiempo, tanto en diseños de caso único como en diseños de grupo.

En el presente trabajo se ha utilizado el análisis de series temporales aplicado a modelos ARIMA (autorregresivos, integrados y de medias móviles), siguiendo la técnica de superposición de curvas.<sup>6</sup> Teniendo en cuenta esta metodología, se ha realizado una comparación de grupos a partir de la superposición de las curvas medias de la diferencia de frecuencia cardíaca de la prueba de esfuerzo de la fase pre-test menos la fase post-test de los grupos experimentales (BIO, RES y BIR), al intervalo de confianza del 95% estimado en el grupo control (CON) según un modelo ARIMA (1,1,1).

Figura IV

Intervalo de confianza del 95% (IC95%) estimado para el grupo CON a partir de la curva de diferencia de frecuencia cardíaca (FC) continua entre las fases pre-test (PRE) y post-test (POS) según un modelo ARIMA (1,1,1). (Nota: w = vatios).

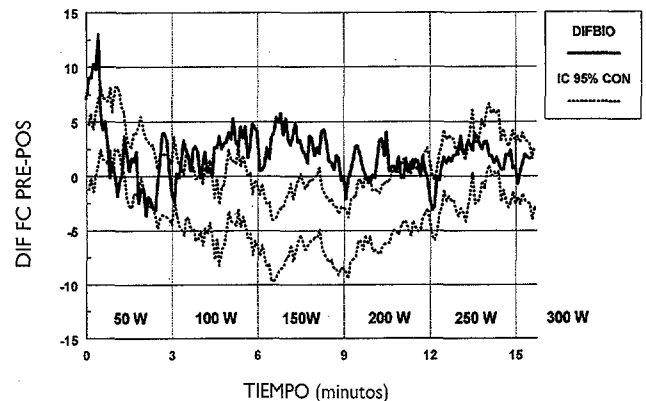


En la Figura IV se representa la curva real de diferencia de frecuencia cardíaca pre-test menos post-test del grupo CON superpuesta al intervalo de confianza del 95% que resulta de ajustar al grupo CON un modelo ARIMA (1,1,1). Este intervalo de confianza representa estadísticamente al grupo CON —siguiendo los pasos especificados por Capdevila, Cruz y Viladrich (1992)—, como referencia para comparar las curvas reales de diferencia de frecuencia cardíaca entre fases de los grupos experimentales (BIO, RES y BIR). De esta manera se podrán extraer las siguientes interpretaciones:

- Si la curva de diferencia de frecuencia cardíaca de la etapa de carrera escalonada de la prueba de esfuerzo entre la fase pre-test menos la fase post-test de los grupos experimentales se encuentra fuera del intervalo de confianza del 95% del grupo CON, entonces se puede concluir que existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $p < 0.05$ ). En el caso que la curva de frecuencia cardíaca de los grupos experimentales esté por debajo del intervalo de confianza del 95% del grupo CON se podrá considerar que los grupos experimentales presentan valores de frecuencia cardíaca más elevados en la fase post-test respecto a la pre-test, que el grupo CON. Y viceversa, si la curva de frecuencia cardíaca de los grupos experimentales está por encima del intervalo de confianza del 95% del grupo CON se podrá considerar que los grupos experimentales presentan valores de frecuencia cardíaca inferiores que el grupo CON.
- Si la curva de diferencia de frecuencia cardíaca entre fases de los grupos experimentales se encuentra dentro del intervalo de confianza del grupo CON, entonces se interpretará que no existen diferencias de frecuencia cardíaca entre los grupos experimentales y el control.
- Y si la curva de diferencia de frecuencia cardíaca entre fases de los grupos experimentales se encuentra muy ajustada a los límites del intervalo de confianza del 95% del grupo CON, entonces se considerará que existen diferencias entre grupos tendientes a la significación estadística. En el caso que la curva de frecuencia cardíaca de los grupos experimentales esté ajustada al límite inferior del intervalo de confianza del 95% del grupo CON se podrá considerar que los grupos experimentales presentan valores de frecuencia cardíaca más elevados en la fase post-test respecto a la pre-test, que el grupo CON. Y viceversa, si la curva de frecuencia cardíaca de los grupos experimentales está ajustada al límite superior del intervalo de confianza del 95% del grupo CON se podrá considerar que los grupos experimentales presentan valores de frecuencia cardíaca inferiores que el grupo CON; pero sin significación estadística.

Figura V

Diferencia de frecuencia cardíaca continua entre las fases pre-test (PRE) y post-test (POS) del grupo BIO, superpuesta al intervalo de confianza del 95% (IC95%) estimado en el grupo CON. (Nota: w = vatios).



En la Figura V se observa la superposición de la diferencia de frecuencia cardíaca continua entre fases para el grupo BIO, sobre el intervalo de confianza del 95%, correspondiente a la curva del grupo CON según el ajuste del modelo ARIMA (1,1,1). La curva de frecuencia cardíaca del grupo BIO se encuentra por encima del intervalo de confianza del 95% del grupo CON en diferentes tramos de la prueba de esfuerzo: en los minutos 1-2 (50 vatios) y desde el minuto 5 (100 vatios) hasta el minuto 12 (200 vatios), por lo que se puede interpretar que en estos tramos la diferencia de frecuencia cardíaca entre fases pre-test y post-test del grupo BIO es superior que la diferencia del grupo CON, siendo la diferencia entre grupos estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Es decir, el grupo entrenado en biorretroalimentación muestra valores de frecuencia cardíaca más bajos en la fase post-test respecto a la fase pre-test que el grupo control.

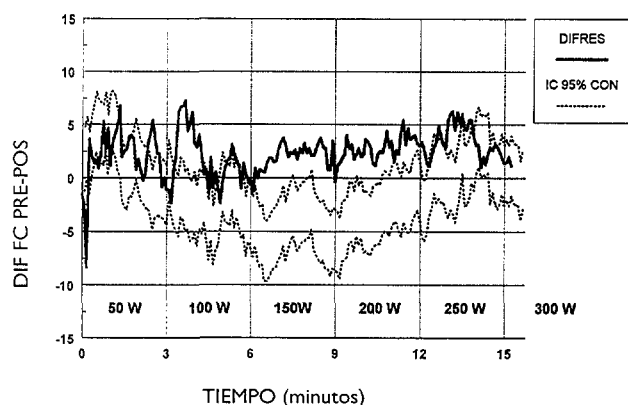
También en la Figura V se puede observar que en el minuto 3-4 (100 vatios) y el minuto 13-14 (250 vatios) los valores de frecuencia cardíaca del grupo BIO están muy cerca del límite superior, aunque estas diferencia no son estadísticamente significativas, los resultados indican que el grupo BIO muestra una frecuencia cardíaca ligeramente inferior en la fase post-test respecto a la pre-test, que el grupo CON.

En la Figura VI se observa la superposición de la diferencia de frecuencia cardíaca continua entre fases para el grupo RES (entrenado en control de la respiración), sobre el intervalo de confianza del 95% correspondiente al grupo control (CON). Analizando la superposición de curvas de frecuencia cardíaca para el grupo RES, en la Figura VI se observa que



**Figura VI**

Diferencia de frecuencia cardíaca continua entre las fases pre-test (PRE) y post-test (POS) del grupo RES, superpuesta al intervalo de confianza del 95% (IC95%) estimado en el grupo CON. (Nota: w = vatios).



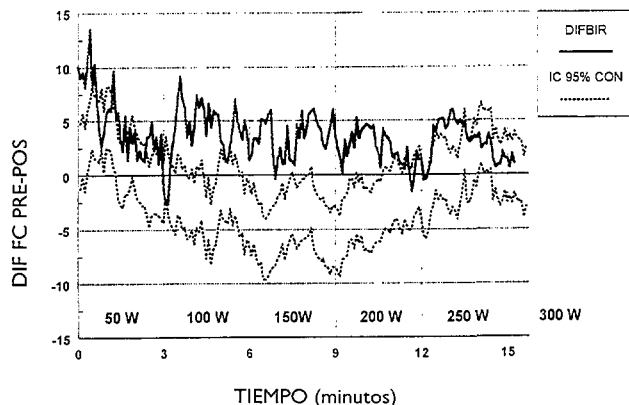
este grupo presenta valores más altos que el grupo CON en el minuto 3-4 (100 vatios) y desde el minuto 6 hasta el 13 aproximadamente (150-200 y 250 vatios). Es decir, el grupo RES en estos minutos mostró unos valores de frecuencia cardíaca inferiores en la fase post-test que en la fase pre-test respecto al grupo CON, siendo las diferencias entre grupos estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

También en la Figura VI se observa que la curva del grupo RES está por debajo del intervalo de confianza del 95% ajustado al grupo CON en los 30 primeros segundos (50 vatios). Es decir, en este tramo de la prueba de esfuerzo el grupo RES mostró una frecuencia cardíaca superior en la fase post-test respecto a la fase pre-test que el grupo CON, siendo las diferencias entre grupos estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

En la Figura VII se observa la superposición de la frecuencia cardíaca continua entre fases para el grupo BIR (entrenado tanto en biorretroalimentación como en control de la respiración), sobre el intervalo de confianza del 95% correspondiente al grupo CON. Analizando la superposición de curvas para el grupo BIR, en la Figura VII se observa que este grupo presenta valores de frecuencia cardíaca por encima del intervalo de confianza del 95% ajustado al grupo CON, desde el minuto 3 hasta el minuto 11 (100 a 200 vatios). Esto significa que en este tramo de la curva de frecuencia cardíaca, el grupo BIR muestra valores inferiores de frecuencia cardíaca en la fase post-test respecto a la fase pre-test, siendo las diferencias entre grupos (BIR y CON) estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

**Figura VII**

Diferencia de frecuencia cardíaca continua entre las fases pre-test (PRE) y post-test (POS) del grupo BIR, superpuesta al intervalo de confianza del 95% (IC95%) estimado en el grupo CON. (Nota: w = vatios).



En los 50 y en los 250 vatios, de la Figura VII, también se puede observar que la curva de frecuencia cardíaca del grupo BIR se sitúa cerca del límite superior. Por lo que se considera que la frecuencia cardíaca del grupo BIR es inferior en la fase post-test que en la fase pre-test, que la frecuencia cardíaca del grupo CON.

En esta misma figura se puede comprobar que la curva del grupo BIR no muestra valores de frecuencia cardíaca por debajo del intervalo de confianza del 95% ajustado al grupo CON, en ningún segmento de la prueba de esfuerzo máximo.

De modo general, en la presente investigación se pueden destacar dos resultados:

- A) Según el análisis de la varianza, los resultados de eficiencia cardíaca indican que los sujetos entrenados en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (grupos BIO y BIR) consiguen disminuir los valores de frecuencia cardíaca en la fase post-test (después del entrenamiento psicológico) respecto a la fase pre-test (antes del entrenamiento psicológico), con diferencias significativas en el reposo y con tendencia a la significación en la carga de trabajo de 150 vatios. Y a partir del análisis de series temporales, se ha podido comprobar que son los tres grupos experimentales (BIO, RES y BIR) los que obtienen un descenso de la frecuencia cardíaca en la fase post-test respecto a la fase pre-test, en comparación con los sujetos del grupo control (CON). Es decir, existe una mejora de la eficiencia cardíaca después del entrenamiento psicológico, siendo el grupo BIR el que obtiene una mayor mejora.

B) A pesar de que los sujetos de los grupos entrenados en biorretroalimentación (BIO y BIR) son los sujetos de la investigación que muestran un mayor control de la frecuencia cardíaca en toda la prueba de esfuerzo máximo, se ha observado que a medida que aumenta la carga de trabajo dicho control es menor. Es decir, a mayor esfuerzo físico menor eficiencia cardíaca.

## DISCUSION

Cabe comentar previamente, que los estudios precedentes realizados en situación de ejercicio estático,<sup>12,31</sup> ejercicio dinámico en tapiz rodante,<sup>18,29,30</sup> y ejercicio dinámico con cicloergómetro,<sup>1,5,19,32,33,40</sup> nos aportan pocos datos sobre los mecanismos implicados en el control de la frecuencia cardíaca a partir de la biorretroalimentación. Este hecho se puede deber a que el objetivo principal de estos trabajos era demostrar la posibilidad de control cardíaco con la técnica de biorretroalimentación durante la realización de ejercicio,<sup>32,33,40</sup> y, en algunos casos, sus efectos y beneficios en la eficiencia cardíaca de enfermos coronarios.<sup>18,29,30</sup> A pesar de todo, algunos de estos autores han realizado estudios y revisiones donde nos aportan su visión acerca de los modelos implicados en las variaciones de frecuencia cardíaca: el condicionamiento operante,<sup>37,15</sup> el modelo mediacional y el modelo perceptivo.<sup>3,4</sup> Según el *condicionamiento operante*, la explicación de porqué los sujetos son capaces de modificar su frecuencia cardíaca a partir de unas instrucciones previas dadas, vendría explicado por los dos elementos básicos del paradigma de condicionamiento operante: la respuesta y el refuerzo. El sujeto, a partir de la información que recibe (retroalimentación), aprende a controlar las respuestas fisiológicas. En nuestro estudio, la respuesta sería la frecuencia cardíaca que manifiesta el sujeto, y el refuerzo sería la información que recibe de la misma a través del aparato de biorretroalimentación (la pantalla del ordenador o el pulsómetro telemétrico). Es decir, el refuerzo sería la información que da la retroalimentación sobre la respuesta de frecuencia cardíaca del ciclista. En el caso de que la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca mostrara al sujeto que está disminuyendo su frecuencia cardíaca, y ésta fuese la respuesta que el espera obtener, esta información estaría actuando como refuerzo de la respuesta de disminuir la frecuencia cardíaca. Así pues, los dos elementos básicos del paradigma del condicionamiento operante están presentes en la biorretroalimentación (respuesta y información), y su efectividad en la atenuación cardíaca es clara, ya que los resultados de este estudio demuestran que el grupo BIO –al que sólo se le administraba información de su respuesta cardíaca– conseguía un control de la misma en la prueba de esfuerzo de la fase

post-test (después del entrenamiento en biorretroalimentación) respecto a la prueba de la fase pre-test (antes del entrenamiento psicológico en biorretroalimentación).

Pero, a pesar de estos resultados, estamos de acuerdo con De la Puente (1990)<sup>14</sup> en que es poco consistente considerar que la señal de biorretroalimentación o retroalimentación es el único ingrediente activo en el cambio fisiológico. Concretamente, en la presente investigación existen dos aspectos que indican que en la atenuación cardíaca pueden actuar otros elementos además de la información o retroalimentación que reciben los ciclistas:

- a) Por un lado, los sujetos del grupo BIR (entrenados en la técnica de biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca y en control de la respiración) conseguían disminuir más los valores de frecuencia cardíaca en todas las etapas y cargas de trabajo de la prueba de esfuerzo, que los sujetos del grupo BIO. Esto demuestra que la combinación de las dos técnicas (biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca y el control de la respiración) es más efectiva que la técnica de biorretroalimentación por sí sola. Este hecho hace pensar que si el control de la frecuencia cardíaca dependiera únicamente de la información que recibe el ciclista, –a través del aparato de biorretroalimentación– sobre la variable a controlar, entonces los dos grupos entrenados en biorretroalimentación (BIO y BIR) habrían obtenido los mismos resultados en cuanto a la disminución de la frecuencia cardíaca, ya que esta información la recibían los dos grupos por igual. Parece ser que la estrategia de control de la respiración que recibían los sujetos del grupo BIR ha mostrado un efecto sumativo permitiendo disminuir su frecuencia cardíaca en un promedio de 12,2 pulsaciones/minuto.
- b) Por otro lado, los ciclistas que sólo recibían biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (grupo BIO), manifestaban que utilizaban estrategias diversas para intentar hacer disminuir los latidos de su corazón, como por ejemplo "estar atento a un clavo del cicloergómetro", "concentrarse en pedalear redondo", "hablar con el corazón para que vaya más despacio", "relajar la musculatura", "cambiar los patrones respiratorios", etc. Todas estas estrategias son vías cognitivas (pensamientos, atención, concentración) y/o somáticas (relajación muscular, control de la respiración), las cuales pueden mediatizar el control cardíaco.

Estos dos aspectos hallados en nuestros resultados, hacen pensar en la posibilidad de que la biorretroalimentación no actúa directamente sobre el sistema nervioso autónomo, sino

que se mediatiza este control a través de otros sistemas como el somático y cognitivo. En esta línea está la explicación que ofrece el *modelo mediacional*, el cual explica que el control de la frecuencia cardíaca se hace a través de estos dos sistemas, es decir, el sujeto que quiere disminuir su frecuencia cardíaca utiliza recursos o estrategias que conoce con efectos sobre la frecuencia cardíaca, como cambios respiratorios<sup>16</sup> o estrategias somáticas o cognitivas.

Los mecanismos implicados en la disminución de la frecuencia cardíaca a partir de la técnica de control de la respiración pueden explicarse, por un lado, a partir del modelo cognitivo de la respiración,<sup>17</sup> y por otro lado a partir de los efectos específicos que la respiración diafragmática tiene sobre la frecuencia cardíaca. Everly (1989)<sup>17</sup> explica que la concentración en la respiración podría servir de ayuda para impedir el desarrollo y mantenimiento de pensamientos obsesivos y de conductas impulsivas, o simplemente para facilitar que la persona desconecte de preocupaciones y pensamientos que le generan tensión. Esta teoría coincide con la planteada por Capdevila (1989)<sup>7</sup> respecto al hecho de que la atención en alguna cosa diferente a los pensamientos negativos que proporciona la fatiga fisiológica no sólo puede permitir mejorar el rendimiento deportivo sino también disminuir los valores de frecuencia cardíaca. También Sime (1979, 1985)<sup>35</sup>,<sup>36</sup> está de acuerdo con esta teoría, al proponer la estrategia de control de la respiración a partir de sincronizar la frecuencia respiratoria con el ritmo de trabajo (en el presente trabajo era el ritmo de pedaleo). Este autor considera que estar atento a esta sincronización evade al sujeto de pensar en la fatiga y el agotamiento. De esta manera, el control de la atención en la respiración provoca que se realice una respiración más natural, lenta y profunda, que según Escolá (1989)<sup>16</sup> produce efectos relajantes y como consecuencia puede hacer disminuir los valores de frecuencia cardíaca.

Otra posible explicación de la disminución de la frecuencia cardíaca mediante el control de la respiración es a partir de los efectos de la respiración diafragmática sobre el sistema simpático y parasimpático. La respiración diafragmática se basa en una serie de ejercicios que implican el uso del diafragma y los músculos del abdomen en la fase de inspiración del aire. Cuando se respira abdominalmente, el movimiento del diafragma produce que los contenidos del abdomen estimulen el nervio vago provocando una activación parasimpática (Harvey, 1978; Hirai, 1975; Lichstein, 1988 —citados por Labrador, de la Puente y Crespo, 1993—.<sup>24</sup> La regulación nerviosa simpática y parasimpática es capaz de producir cambios importantes en la función cardiovascular. Concretamente la estimulación parasimpática produce mayor liberación

de acetilcolina, dando como resultado una bradicardia.<sup>20,28</sup>

Así pues, la disminución de la frecuencia cardíaca en la prueba de esfuerzo de la fase post-test respecto a la pre-test en los grupos entrenados en control de la respiración puede explicarse tanto por la teoría cognitiva como por el tipo de respiración que realizaban (diafragmática, lenta, profunda y rítmica).

El otro resultado interesante para la discusión es el hecho de que a medida que aumenta la carga de trabajo disminuye el control de la frecuencia cardíaca, especialmente en los grupos entrenados en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (BIO y BIR). Para entender este resultado debe tenerse en cuenta que la aceleración del corazón empieza, en general, antes del mismo esfuerzo; después continúa de una manera lineal y proporcional a la intensidad del esfuerzo hasta un límite superior que aproximadamente corresponde a la frecuencia máxima teórica (FTM), que se calcula a partir de una resta aritmética de 220 menos la edad del sujeto —expresada en años—.<sup>13</sup> Después del esfuerzo físico, la frecuencia cardíaca disminuye progresivamente hasta llegar a valores semejantes a los del inicio del esfuerzo: es la recuperación. Así pues, parece lógico pensar que en estadios elevados de esfuerzo como son los 300 vatios de carga de esfuerzo, después de pedalear durante unos 20 minutos, y cuando el ciclista se encuentra entre 170 y 190 pulsaciones/minuto, exista cierta dificultad para hacer disminuir la frecuencia cardíaca a partir de la biorretroalimentación y para controlar la respiración, por muy elevado que sea el nivel de entrenamiento psicológico y físico del deportista. Según esto, una explicación de porqué es menor el control de la frecuencia cardíaca a mayores cargas de trabajo, podría ser atribuible a los efectos de la fatiga fisiológica que comporta la realización de un esfuerzo físico extenuante, que podrían imposibilitar al sujeto de prestar atención tanto a la información que proporciona la biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca (sujetos de los grupos BIO y BIR), como al control de la respiración (sujetos de los grupos RES y BIR). A pesar de estos resultados acerca de la dificultad de controlar la frecuencia cardíaca y la respiración en estadios altos de ejercicio físico, en el presente estudio se ha constatado que los sujetos entrenados en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca fueron capaces de aguantar más tiempo realizando la prueba de esfuerzo en la fase posterior al entrenamiento psicológico. Es decir, los sujetos de los grupos que recibieron biorretroalimentación mejoraron considerablemente su rendimiento en la realización de la prueba de esfuerzo máximo.<sup>41</sup>

Este resultado, referente a la dificultad de controlar la frecuencia cardíaca a cargas de intensidad elevada, es difícil de

contrastar con estudios precedentes, puesto que los trabajos donde se evalúan los efectos del entrenamiento en biorretroalimentación de la atenuación cardíaca durante la realización de pruebas de esfuerzo estático,<sup>12, 31</sup> dinámico en cicloergómetro,<sup>18, 29, 30, 32, 33, 40</sup> y dinámico en tapiz rodante,<sup>1, 5, 19</sup> se han realizado con esfuerzo físico de intensidad baja y moderada. En la mayoría de estudios el esfuerzo exigido a los sujetos era del 10%, 30% y 50% de la frecuencia cardíaca máxima, excepto el de Perski y cols. (1985)<sup>33</sup> donde era del 65%, y el de Valiente y Capdevila (1994)<sup>40</sup> del 75% y 100%.

Como conclusión del presente trabajo se puede considerar que el entrenamiento psicológico más efectivo para la mejora de la eficiencia cardíaca en pruebas de esfuerzo con cicloergómetro parece ser la combinación del entrenamiento en biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca y en control de la respiración. Este aspecto parece confirmarse con los resultados observados en la disminución de la frecuencia cardíaca en la fase post-test respecto a la pre-test para el grupo BIR, el cual obtiene una mayor disminución de la frecuencia cardíaca

que los grupos BIO y RES. Esto puede deberse a que al ciclista entrenado en las dos técnicas se le facilitaban dos informaciones: por un lado, una estrategia eficaz para conseguir atenuar la frecuencia cardíaca como es el control de la respiración, y por otro lado, una información real de las variaciones de frecuencia cardíaca así como de los progresos que va obteniendo en cuanto a la disminución de la misma, a través de la técnica de biorretroalimentación. En cambio, los sujetos del grupo BIO, por el hecho de no tener ninguna estrategia que, de manera directa, les permitiera disminuir los valores de frecuencia cardíaca, estaban obligados a buscar estrategias cognitivas (concentrarse en un punto, pensar frases positivas y motivantes, etc.), o somáticas (relajación muscular, control de la respiración, etc.), por ensayo-error, que pudieran facilitarles el control de la frecuencia cardíaca. Y a los sujetos del grupo RES les faltaría información continua de su frecuencia cardíaca ya que en ningún momento de la prueba de esfuerzo tuvieron información de los cambios de frecuencia cardíaca que les produjo el hecho de controlar su respiración.

## Bibliografía

1. ÁLVAREZ, M. *Biorretroalimentación durante el esfuerzo ergométrico: un estudio sobre la posibilidad de autocontrol de la frecuencia cardíaca*. Trabajo de investigación de doctorado inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. 1994.
2. ÁLVAREZ, M.; Villamarín, F. y Cruz, J. La biorretroalimentación como técnica para autorregular la frecuencia cardíaca durante el ejercicio dinámico: un análisis experimental. *Análisis y Modificación de la Conducta*, 1995; 21 (80), 823-844.
3. BRENER, J.M. A general model of voluntary control applied to the phenomena of learned cardiovascular change. En P.A. Obrist, A.H. Black, J. Brener y L.V. Dicara (Eds.). *Cardiovascular psychophysiology*, 1974; (pp. 365-391). Chicago: Aldine.
4. BRENER, J.M. Psychobiological mechanisms in biofeedback. En L. White y B. Tursky (eds.). *Clinical biofeedback: efficacy and mechanisms*, 1982; (pp. 24-48). London: Guilford Press.
5. BURRILL, K.C. *The effect of heart rate biofeedback training of heart rate lowering during progressive cyclic exercise and biathlon performance with junior athletes*. Tesis doctoral inédita. Boston: Boston University. 1990.
6. CAPDEVILA, L. Anàlisi de sèries temporals aplicada a la freqüència cardíaca en una prova d'esforç. *Apunts de Medicina de l'Esport*, 1989a; 26, 79-83.
7. CAPDEVILA, L. *Efectes de l'entrenament psicològic sobre l'estrès de competició i sobre l'eficiència cardiorespiratòria, en atletes mig-fondistes*. Tesis doctoral microfilmada. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 1989b.

8. CAPDEVILA, L. y CRUZ, J. Análisis de series temporales aplicado al estudio de la emoción y de la conducta en un atleta. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 1992; 45, 103-111.
9. CAPDEVILA, L., CRUZ, J. y VILADRICH, C. Conducta deportiva en diseños de grupo: análisis de series temporales. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 1992; 45, 453-460.
10. CAPDEVILA, L., PINTANEL, M., VALIENTE, L. y CRUZ, J. La biorretroalimentación como técnica de entrenamiento psicológico deportivo. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 1995; 48, 111-123.
11. CARROBLES, J.A. y GODOY, J. *Biofeedback: principios y aplicaciones*. Barcelona: Martínez Roca. 1987.
12. CLEMENS, W.J. y SHATTOCK, R.J. Voluntary heart rate control during static muscular effort. *Psychophysiology*, 1979; 4, 327-332.
13. COUSTEAU, J.P. *Cardiología del deporte*. Barcelona: Masson. 1989.
14. DE LA PUENTE, M.L. *Efectos diferenciales del entrenamiento en biofeedback EMG frontal y de la inoculación del estrés en el tratamiento de céfaleas funcionales*. Tesis doctoral inédita. Madrid: Universidad Computense. 1990.
15. ENGEL, B.T. y TALAN, M.I. Autonomic blockade does not prevent learned heart rate attenuation during exercise. *Physiology and Behavior*, 1991; 49, 373-382.
16. ESCOLÁ, F. *Educación de la respiración. Pedagogía para el rendimiento físico y la fonación*. Barcelona: INDE. 1989.
17. EVERLY, G.S. *A clinical guide to the treatment of the human stress response*. New York: Plenum Press. 1989.
18. FREDICKSON, M. y ENGEL, B.T. Learned control of heart rate during exercise in patients with borderline hypertension. *European Journal Applied Physiology*, 1985; 54, 315-320.
19. GOLDSTEIN, D.S., ROSS R.S. y BRADY, J.V. Biofeedback heart rate training during exercise. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1977; 2, 107-125.
20. GUYTON, A.C. *Tratado de fisiología médica*. Madrid: Interamericana - McGraw-Hill. 1993.
21. HARVEY, J. Diaphragmatic breathing: a practical technique for breath control. *The Behavior Therapist*, 1978; 1, 13-14.
22. HIRAI, T. *Zen meditation therapy*. Tokyo: Yapan Publications, 1975.
23. LABRADOR, F.J., CRUZADO, J.A. y MUÑOZ, M. *Manual de técnicas de modificación y terapia de conducta*. Madrid: Pirámide, 1993.
24. LABRADOR, F.J., DE LA PUENTE, M.L. y CRESPO, M. Técnicas de control de la activación: relajación y respiración. En J. Mayor y F.J. Labrador (Eds.). *Manual de modificación de conducta*, 1993; (pp. 367-397). Madrid: Alhambra.
25. LANDERS, D.M. Psychophysiological assessment and biofeedback. Applications for athletes in closed-skill sports. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.). *Biofeedback and sport science*, 1985; (pp. 63-105). New York: Plenum Press.
26. LANDERS, D.M., PETRUZZELLO, S.J., SALAZAR, W., CREWS, D.J., KUBITZ, K.A., GANNON, T.L., y HAN, M. The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1991; 23, 123-129.
27. LICHSTEIN. *Clinical relaxation strategies*. New York: Wiley, 1988.
28. LIPPOLD, O.C.J. y WINTON, F.R. *Fisiología humana*. Barcelona: JIMS, 1970.
29. LO, C.R. y JONHSTON, D.W. Cardiovascular feedback during dynamic exercise. *Psychophysiology*, 1984a; 21, 199-206.
30. LO, C.R. y JONHSTON, D.W. The self-control of the cardiovascular response to exercise using feedback of the product of interbeat interval and pulse transit time. *Psychosomatic Medicine*, 1984b; 46, 115-125.
31. MOSES, J., CLEMENS, W.J. y BRENER, J. Bidirectional voluntary heart rate control during static muscular exercise: metabolic and respiratory correlates. *Psychophysiology*, 1986; 5, 510-520.
32. PERSKI, A. y ENGEL, B.T. The role of behavior conditioning in the cardiovascular adjustment to exercise. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1980; 5, 91-104.
33. PERSKI, A., TZANKOFF, S.P. y ENGEL, B.T. Central control of cardiovascular adjustment to exercise. *Journal Applied Physiology*, 1985; 2, 431-435.
34. PETRUZZELLO, S.J., LANDERS, D.M. y SALAZAR, W. Biofeedback and sport/exercise performance: applications and limitations. *Behavior Therapy*, 1991; 22, 379-392.
35. SIME, W.E. Association/dissociation and motivation in marathon runners. Comunicación presentada en el *Northland Regional Meeting of the American College of Sports Medicine*. Omaha, 1979.
36. SIME, W.E. Physiological perception. The key of peak performance in athletic competition. En J.H. Sandweiss y S.L. Wolf (Eds.) *Biofeedback and Sports Science*, 1985; (pp.33-62). New York: Plenum Publishing Corporation.
37. TALAN, M.I. y ENGEL, B.T. Learned control of heart rate during dynamic exercise in nonhuman primates. *Journal Applied Physiology*, 1986; 61, 545-553.
38. VALIENTE, L. *Biorretroalimentació de la freqüència cardíaca durant proves d'esforç amb cicloèrgometre*. Trabajo de investigación de doctorado no publicado. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 1993.

39. VALIENTE, L., ACSENSI, C. y CAPDEVILA, L.. Programa informàtic de bioretroalimentació amb cicloergòmetre. En *X Jornades de l'Associació Catalana de Psicologia de l'Esport*, 1994; (pp. 207-210). Lleida: ACPE.
40. VALIENTE, L. y CAPDEVILA, L. La biorretroalimentación de la frecuencia cardíaca como técnica psicológica para mejorar el rendimiento fisiológico: un estudio piloto. *Revista de Psicología del Deporte*, 1994; 5, 15-30.
41. VALIENTE, L. *Efectes de la bioretroalimentació de la freqüència cardíaca sobre el rendiment esportiu i l'eficiència cardíaca en ciclistes durant proves d'esforç màxim*. Tesis doctoral inédita. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 1996.