

BIORRETROALIMENTACIÓN DE FRECUENCIA CARDÍACA DURANTE EL EJERCICIO FÍSICO: RESULTADOS E IMPLICACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN FUTURA¹

Maria Álvarez Moleiro

Departamento de Psicología de la Educación
Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN

El ámbito de la actividad física y el deporte, que utilizan la biorretroalimentación (BR) como técnica de entrenamiento psicológico.

La revisión se realiza en base a dos criterios. (1) las aplicaciones o usos de la BR en el deporte y el ejercicio: regulación de la ansiedad pre-competitiva y de la actividad fisiológica, rehabilitación muscular, aprendizaje de gestos y movimientos técnicos, y mejora de la eficacia cardíaca y el rendimiento en deportes de resistencia; (2) las variables psicofisiológicas utilizadas en la BR (tensión muscular -EMG-, actividad eléctrica cerebral -EEG-, respiración, y frecuencia cardíaca).

En relación a este último criterio, una de las variables psicofisiológicas que ha mostrado resultados más prometedores es la frecuencia cardíaca. Por ello, se analizan con detalle estos estudios, se resumen los principales resultados y se consideran sus implicaciones para la investigación futura.

Palabras clave: BIORRETROALIMENTACIÓN, FRECUENCIA CARDÍACA, ACTIVIDAD FÍSICA.

Correspondencia: María Álvarez Moleiro. Área de Psicología Básica. Departamento de Psicología de la Educación. Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Barcelona. 08913 Bellaterra (Barcelona). España. Teléfono de contacto: (93)5813136. E-Mail: Maria.Alvarez@uab.es. FAX: (93) 5812324

¹ Este trabajo ha sido realizado, en parte, gracias a la ayuda PB94-0700 de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia Español.

ABSTRACT

In this paper, the most of empirical studies that use biofeedback as psychological training technique in physical activity and sport fields are reviewed. The review has been carried out according to two criteria: (1) biofeedback applications in sport and exercise: precompetitive anxiety and physiological activation regulation, muscular rehabilitation, technical movement apprenticeship, and cardiac efficiency and performance improvement in endurance sports; (2) psychophysiological variables utilised in biofeedback (electromyography -EMG-, brain activity -EEG- respiratory frequency and heart rate). In relation to the second criterion, heart rate is the psychophysiological variable that showed the most interesting results. Because of it, these studies are analysed in detail, their main results are summarised and their implications to future research are considered.

Key words: BIOFEEDBACK, HEART RATE, PHYSICAL ACTIVITY

1. INTRODUCCIÓN

La biorretroalimentación (BR) es una técnica de entrenamiento psicológico que, desde su aparición en la década de los 60, se ha utilizado principalmente como técnica terapéutica para el tratamiento de diferentes desórdenes clínicos, especialmente de tipo somático. Sin embargo, a partir de la década de los años 80 la BR empezó a aplicarse también en el área de la actividad física y el deporte, dando lugar a una serie de investigaciones que tienen por objetivo global estudiar si el autocontrol de determinadas variables psicofisiológicas puede contribuir a mejorar el rendimiento en este tipo de tareas.

El presente trabajo tiene por objetivo principal presentar una síntesis de las investigaciones sobre BR de frecuencia cardiaca (FC) realizadas en el ámbito de la actividad física y el deporte, para, a partir de este análisis, plantear un conjunto de sugerencias para la investigación futura.

Para contextualizar esta revisión trataremos primero algunas cuestiones relativas a la técnica de BR en general, a las aplicaciones de la BR en el ámbito del deporte y la actividad física, y a la investigación básica en BR de FC.

Por ello se ha estructurado el presente trabajo en cuatro grandes partes: (a) Una primera en la que se tratan algunos aspectos teóricos relacionados con las técnicas de BR en general y se revisa buena parte de las investigaciones sobre BR en el ámbito de la actividad física y el deporte en base a dos criterios: (1) las aplicaciones de la BR en el deporte y el ejercicio, (2) las variables fisiológicas que se han utilizado en la BR; (b) una segunda parte centrada en la investigación sobre BR de FC en la que se tratan algunos aspectos relacionados con la investigación básica; (c) en la tercera parte se describen los principales estudios en los que se ha intentado, mediante esta técnica mejorar la eficiencia cardíaca durante el ejercicio físico; (d) finalmente, se plantean una serie de conclusiones y sugerencias para la investigación futura.

2. LA BIORRETROALIMENTACIÓN COMO TÉCNICA: DEFINICIÓN Y OBJETIVOS

El término inglés *biofeedback* y sus diversas traducciones al castellano (bioinformación, biorretroinformación y biorretroalimentación), entre otras, hacen referencia según la definición de Vila (1980) “al conjunto de procedimientos experimentales destinados a proporcionar a un organismo, a través de un indicador sensorial exterior, información inmediata y precisa de una o varias de sus funciones biológicas, generalmente con el fin de producir modificaciones en dichas funciones” (p 267).

Si bien se han estudiado mediante las técnicas de biorretroalimentación funciones biológicas tales como las respuestas electromiográficas que, por sí mismas proporcionan importante *feedback* inmediato al organismo, las respuestas biológicas más estudiadas han sido aquellas que se relacionan con el sistema nervioso autónomo y el sistema nervioso central, dado que son éstas las que menor información natural proporcionan al organismo.

La definición de BR que acabamos de exponer se centra básicamente en la descripción de la *técnica*, pero es poco explícita en lo que respecta a los *objetivos* que se pretenden alcanzar con la utilización de la misma. Esta laguna, queda suplida, en parte, por definiciones como la de Labrador (1984).

“La biorretroalimentación es una técnica de aprendizaje dirigida a modificar ciertos procesos fisiológicos con el objetivo final de

conseguir su control voluntario, sin el uso de instrumentos cuando y donde sea necesario" (Labrador, 1984, p.382).

De esta definición se desprende que el objetivo de las técnicas de BR consiste en conseguir cambios intencionados o voluntarios en las variables fisiológicas (incluso sin la ayuda de los aparatos). En muchos casos estos cambios serán un medio para solucionar problemas clínicos o para mejorar el rendimiento en diferentes tipos de tareas.

3. LA BIORRETROALIMENTACIÓN EN EL ÁREA DEL DEPORTE Y LA ACTIVIDAD FÍSICA

Como hemos señalado anteriormente, cuando en la década de los 80 las técnicas de BR empezaron a aplicarse en el área de la actividad física y el deporte, se llevaron a término una serie de investigaciones que tenían por objetivo global estudiar si el autocontrol de determinadas variables psicofisiológicas puede contribuir a mejorar el rendimiento en este tipo de tareas. De tal forma que si esto fuera posible, las técnicas de BR podrían constituir un complemento psicológico del entrenamiento físico, técnico, y táctico del que depende el rendimiento deportivo global.

En este apartado revisaremos una buena parte de estos estudios utilizando dos criterios: a) las aplicaciones o usos de la BR en el deporte y el ejercicio; b) las variables fisiológicas que se han utilizado en la BR.

Aplicaciones

Según los trabajos de Landers (1985), Palmi y Gordillo (1986), Sandweiss y Wolf (1985) y Zaichkowsky (1986) las técnicas de BR en el deporte y la actividad física se han utilizado con las siguientes finalidades: disminución de la ansiedad pre-competitiva, regulación de la activación fisiológica, rehabilitación muscular, aprendizaje de gestos y movimientos técnicos, mejora de la eficiencia cardíaca y del rendimiento deportivo.

Ansiedad pre-competitiva

La ansiedad que precede e incluso acompaña a una competición deportiva, y que frecuentemente incide negativamente sobre el rendimiento, puede manifestarse (y evaluarse) a nivel cognitivo

(síntomas tales como incapacidad para concentrarse, mente confusa, omnipresencia de determinadas ideas o imágenes mentales de las que el sujeto es incapaz de librarse) y a nivel somático, a través de indicadores fisiológicos, controlados por el sistema nervioso somático y autónomo, tales como incremento de la tensión muscular (EMG), de la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria, ganas de orinar, sudoración, sequedad de boca, etc. Teóricamente algunas de estas variables pueden llegar a controlarse mediante el entrenamiento con técnicas de biorretroalimentación (BR), por lo que éstas podrían constituir un procedimiento adecuado, junto a otras técnicas más usuales como son las técnicas de relajación, para la disminución de la ansiedad. Parece ser que la variable fisiológica que más se ha utilizado cuando se han aplicado técnicas de BR con esta finalidad, es el EMG. (Para una revisión de estos trabajos puede consultarse Zaichkowsky (1989) y Zaichkowsky y Fuchs (1988)).

Regulación de la activación fisiológica

El concepto de *arousal* o activación fisiológica ha jugado un papel importante, tanto en psicología de la motivación como en psicología de la emoción (Weiner, 1980). Tanto es así que en algunas teorías de la emoción, la ansiedad equivaldría a un nivel muy intenso de activación.

Según los teóricos del *arousal*, tanto un grado de activación muy elevado como uno bajo perjudicarían el rendimiento; y la mejor ejecución se produciría con un nivel intermedio de activación. Este grado intermedio de activación (en el que se produce el máximo rendimiento) se suele denominar nivel óptimo de activación (NOA)

Siguiendo este principio, ya tópico dentro de la teoría de la activación, algunos autores han utilizado las técnicas de BR para entrenar a los sujetos de cara a la consecución de un NOA. Estos estudios se han realizado en deportes de precisión -golf, tiro con rifle, pistola, tiro con arco, esgrima, etc.- y las variables fisiológicas más utilizadas han sido la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y también el EMG.

Rehabilitación muscular

Otro de los usos de la BR es la facilitación de la recuperación después de lesiones musculares. Lógicamente, la variable más

utilizada durante el entrenamiento en BR con esta finalidad es el EMG. Por otra parte, esta aplicación de la BR en el ámbito del deporte se solapa, en parte, con las aplicaciones clínicas de la BR (ver Carrobles y Godoy, 1987).

Aprendizaje de gestos y movimientos técnicos

La BR de EMG se puede utilizar también para informar a los deportistas del grado de precisión de ciertos movimientos corporales implicados en la ejecución de diferentes deportes. Esta aplicabilidad de la BR se conoce como electroquinesiólogía, y puede contribuir tanto al aprendizaje de nuevos gestos técnicos, como a corregir errores en gestos ya aprendidos, mediante la retroalimentación de los movimientos de los músculos esqueléticos implicados en el gesto deportivo específico. Uno de los deportes en que se ha utilizado la BR con esta finalidad es la gimnasia femenina, donde se consiguió mejorar, mediante esta técnica, la flexibilidad de las piernas (Wilson y Bird, 1981, en Palmi y Gordillo, 1986).

Mejora de la eficiencia cardíaca y del rendimiento en deportes de resistencia

Los estudios sobre BR que han intentado mejorar la eficiencia cardíaca los describimos más en detalle en otro apartado del presente trabajo. Aquí simplemente nos limitaremos a señalar que una gran parte de estos estudios en los que se ha utilizado la BR con la finalidad de incrementar la capacidad cardíaca se han realizado con pacientes coronarios. No obstante, últimamente, también se han realizado investigaciones con muestras de personas sedentarias normales y de deportistas a los que se ha entrenado mediante técnicas de BR de frecuencia cardíaca, con la finalidad de mejorar su eficiencia cardiorespiratoria (Álvarez, 1994, Pintanel, 1994, Valiente, 1994,1996) y también el rendimiento en tareas de resistencia

Variables fisiológicas utilizadas

Según Petruzello, Landers y Salazar (1991) las variables psicofisiológicas utilizadas en los estudios sobre BR en el ámbito de

la actividad física y el deporte han sido diversas: tensión muscular (EMG), actividad eléctrica cerebral (EEG), respiración y frecuencia cardíaca (FC). La revisión realizada por estos autores se ha centrado en estudios en los que el rendimiento en tareas de tipo motor depende básicamente del esfuerzo físico. En este sentido, señalan que ni el *biofeedback* de EMG, ni el de EEG parecen mejorar el rendimiento en este tipo de tareas, siendo el *biofeedback* de respiración y el de FC, los dos que parecen producir, de una forma más clara, este efecto de mejora.

A continuación describiremos, de forma muy resumida, los resultados obtenidos con cada una de las variables fisiológicas antes mencionadas. De este breve repaso excluirémos la BR de FC, que se analizará con mayor detenimiento en la segunda parte de este artículo.

Biofeedback de EMG

Los estudios pertenecientes a este grupo se basan en el supuesto de que la reducción de la tensión muscular hasta ciertos niveles, considerados “deseables”, redundaría en un ahorro de esfuerzo muscular, y consecuentemente, en una mejora del rendimiento. Se plantean, pues, como objetivo mejorar el rendimiento a través de una reducción de la tensión muscular.

En las revisiones sobre este tema realizadas por Landers (1988) y por Zaichowsky y Fuchs, (1988), únicamente dos de entre los diez estudios analizados obtuvieron un efecto de mejora del rendimiento a través del entrenamiento en BR de tensión muscular; por ello, parece razonable concluir que la BR de tensión muscular se ha mostrado como una técnica poco útil para mejorar el rendimiento en tareas deportivas, en que la ejecución depende fundamentalmente del esfuerzo físico.

Biofeedback del ritmo α del EEG

En este grupo se incluyen aquellas investigaciones que tienen por objetivo estudiar cómo los cambios en el ritmo α (una de las bandas de frecuencia de la actividad eléctrica espontánea del cerebro) afectan a la mejora de habilidades físicas.

En general, los resultados obtenidos en estas investigaciones parecen indicar que aunque los incrementos generalizados del ritmo a no parecen estar relacionados con una mejora del rendimiento, sí parece haber cierta asociación entre incrementos del ritmo a específicos de un hemisferio cerebral y una mejora del rendimiento en habilidades físicas (Salazar, Landers, Petruzzelo, Crews, Kubitz, Han, 1990).

Biofeedback de respiración

El interés por la BR de respiración ha ido incrementándose a raíz de la constatación de que la reducción de la FC, a través de la BR de FC, está muy relacionada con factores respiratorios. De hecho, sujetos que después de haber sido entrenados con BR de FC son sometidos a una prueba de esfuerzo (una prueba submáxima), no sólo reducen su FC, sino que además tienden a consumir menos oxígeno.

Ante este hecho, y dado que las modificaciones de la respiración pueden ser más fáciles de conseguir que las de FC, la BR de respiración ha ido adquiriendo cada vez más importancia.

En general, los resultados obtenidos parecen indicar que los sujetos entrenados con BR de respiración mientras realizan una prueba de esfuerzo en tapiz rodante reducen el coste respiratorio (Hathfield, Spalding, Mahon, Brody y Vaccaro, 1986).

4. BIORRETROALIMENTACIÓN DE FRECUENCIA CARDIACA

Como señalamos anteriormente, una de las variables psicofisiológicas que ha mostrado resultados más prometedores en las investigaciones con técnicas de BR en el ámbito del deporte y la actividad física es la FC.

En las páginas siguientes analizaremos con detalle estas investigaciones que pretenden incrementar el rendimiento a través de la mejora de la eficiencia cardíaca.

Previamente a esta revisión presentaremos algunos aspectos relacionados con la investigación básica en BR de FC que consideramos especialmente relevantes para contextualizar la investigación aplicada: a) Principales resultados obtenidos en la investigación básica; b) la investigación más reciente sobre el modelo mediacional-

somático en relación con el control de FC; c) los conceptos de control instruccional de FC, control mediante BR de FC y autocontrol de FC.

Investigación básica en biorretroalimentación de frecuencia cardíaca (principales resultados)

Para desarrollar este apartado nos basaremos en una excelente revisión realizada por Vila y Pegalajar (1982).

En este trabajo se analizan un total de 44 estudios experimentales sobre BR de FC, que poseen las siguientes características: se utilizan sujetos "normales" (sin problemas clínicos); se les entrena mediante BR para controlar la FC (incrementarla y/o disminuirla); en la mayoría de los casos la BR de FC se aplica en estado de reposo (los sujetos no realizan durante el entrenamiento ninguna actividad que produzca aumentos adicionales de la FC).

En este análisis se intenta establecer el impacto de una serie de características paramétricas del entrenamiento sobre la eficacia de la BR, y se resumen los resultados relativos a la magnitud de los cambios en FC atendiendo al objetivo de las investigaciones (incrementos o disminuciones) y a las diferencias individuales.

Características paramétricas

Los parámetros examinados en este trabajo de revisión son los siguientes: la modalidad sensorial del *feedback* (visual o auditivo), el tipo de *feedback*, atendiendo a la cantidad de información proporcionada: *feedback* analógico versus *feedback* binario; el número de sesiones de entrenamiento; el espaciamiento temporal entre sesiones; la inmediatez o demora del *feedback*; el conocimiento de la respuesta que está siendo entrenada; la utilización de incentivos extrínsecos al procedimiento de BR, para motivar a los sujetos.

A partir de los datos obtenidos en los 44 estudios revisados se pueden extraer las siguientes conclusiones respecto a los anteriores parámetros:

a) Por lo que se refiere a la modalidad sensorial del *feedback*, visual o auditiva, los pocos estudios que comparan ambas modalidades no permiten inclinarse por ninguna de ellas. A pesar de esta falta de apoyo empírico, a partir de 1972 se ha utilizado preferentemente la modalidad visual.

b) Cuando, con el entrenamiento en BR se trata de conseguir un incremento de la FC, el *feedback* proporcional visual es superior al *feedback* binario visual. En los estudios sobre disminución de FC, no se han encontrado datos claros a favor de uno u otro tipo de *feedback*.

c) Por lo que respecta al número de sesiones, se ha de distinguir entre los diseños de caso único (intra sujeto) y los diseños de grupo (entre sujetos). En el primer tipo de estudios se ha utilizado invariablemente un número superior a las 5 sesiones de entrenamiento. En los estudios con diseño entre grupos se ha de distinguir entre los realizados antes y después de 1973. En los primeros se utilizaron entre 1 y 2 sesiones de entrenamiento, y en los posteriores a esa fecha, se han aplicado, en algunos estudios, entre 5 y 10 sesiones de entrenamiento. En buena parte de estos estudios se ha encontrado que a mayor número de sesiones, mayores disminuciones en FC, si bien en otros estudios no se ha encontrado esta relación.

d) Por lo que respecta al espaciamiento entre sesiones de entrenamiento, no parece que esta variable afecte al aprendizaje de la disminución de la FC.

e) Presentar el *feedback* de forma inmediata parece facilitar el autocontrol de FC (sobre todo en incrementos de FC).

f) Los datos disponibles no permiten afirmar de forma inequívoca que la utilización de incentivos adicionales (como por ejemplo dinero) para conseguir los objetivos de control, facilite el autocontrol de FC (éste se puede conseguir sin incentivos adicionales).

g) Finalmente, el conocimiento (consciencia) de la respuesta a controlar parece tener efectos facilitadores sobre el control de FC mediante BR.

Magnitud del cambio en frecuencia cardíaca

La mayoría de los trabajos informan de la magnitud de los cambios en base a un criterio de significación estadística; otros presentan una simple descripción de los cambios en términos de latidos por minuto.

Los resultados obtenidos en los estudios revisados por Vila y Pegalajar (1982) pueden resumirse del modo siguiente:

a) Se suelen conseguir mayores cambios en incremento que en disminución de la FC.

b) Los cambios en incremento de FC varían entre un promedio de 5.9 latidos/minuto (estudios anteriores a 1973) y un promedio de 15 latidos/minuto (en trabajos posteriores a esta fecha). En algunos estudios con diseño de caso único se han conseguido incrementos de hasta 38 latidos/minuto.

c) Los cambios en disminución oscilan entre un promedio de 3 latidos/minuto (estudios anteriores a 1973) y 5 latidos/minuto (estudios posteriores a esta fecha). En algún estudio con un diseño de caso único se han conseguido disminuciones de hasta 15 latidos/minuto.

d) Existe un alto grado de variabilidad en la habilidad de los sujetos para autocontrolar la FC: mientras algunos sujetos pueden producir cambios de gran magnitud, otros apenas superan ciertos valores mínimos.

Autocontrol de frecuencia cardíaca mediante biorretroalimentación: algunas cuestiones teóricas

La identificación de los mecanismos que subyacen al autocontrol aprendido ha constituido uno de los mayores intereses de la investigación básica sobre biorretroalimentación (BR).

No obstante, en este apartado no nos proponemos realizar una exposición de todos los modelos teóricos que han intentado describir el mecanismo a través del cual se consigue el autocontrol de la frecuencia cardíaca (FC) mediante el entrenamiento en BR. (El lector interesado puede obtener una exposición detallada de estos modelos y de las investigaciones empíricas que han generado en Pegalajar y Vila, 1983). Nos limitaremos, simplemente, a describir algunas investigaciones relativamente recientes sobre el modelo mediacional somático.

Investigación reciente sobre el modelo mediacional somático

Según la hipótesis mediacional, los cambios obtenidos en la FC mediante el entrenamiento en BR no se deben a un aprendizaje directo, sino que se trata de epifenómenos asociados a procesos mediacionales de tipo periférico o cognitivo (Pegalajar y Vila, 1983).

Concretamente, en relación a la mediación de tipo somático se ha planteado la posibilidad de que, dado el alto grado de asociación

que existe a nivel fisiológico entre actividad cardíaca y muscular, y entre corazón y respiración, el autocontrol observado de la FC se deba a cambios en la actividad muscular, en la respiración, o en ambos sistemas a la vez (McCanne y Sandman, 1976).

En este sentido, Engel y su equipo del *Gerontology Research Center* de Baltimore, llevaron a término una serie de estudios (Engel y Talan, 1991a, 1991b; Talan y Engel, 1986) con el objetivo de construir un modelo animal que les permitiera examinar empíricamente las relaciones existentes, durante el ejercicio, entre los sistemas cardiovascular, pulmonar y somatomotor. En estos estudios se utilizaron monos (macaca mulatta) como sujetos experimentales.

El procedimiento utilizado fue el mismo para los tres estudios: todos los animales fueron entrenados, mediante condicionamiento operante, para que redujeran su FC, para que realizaran un determinado ejercicio, y finalmente, para que combinaran las dos habilidades anteriores, es decir, para que redujeran su FC mientras realizaban el ejercicio que se le había enseñado.

El entrenamiento para la reducción de la FC constaba de dos etapas. Durante la primera, que constaba de varias sesiones, una luz roja permanecía encendida desde el inicio hasta el final para indicar a los sujetos que se les requería reducir su FC. Cuando la ejecución era "correcta" se encendía una luz amarilla, situada al lado de la roja. Cuando la ejecución era "incorrecta" se apagaba la luz amarilla y el animal podía recibir un *shock*.

La presencia o ausencia de la luz amarilla y la emisión de *shocks* era controlada manualmente por el investigador.

Después de un período de entrenamiento que podía oscilar entre las 4 y las 7 sesiones, los animales demostraban ya un cierto control.

En la segunda etapa, cada sesión era precedida de 256 segundos de línea de base durante la cual se medía la FC de los sujetos experimentales. Transcurridos estos segundos daba inicio la sesión, cuyo protocolo estaba íntegramente controlado por ordenador, de manera que la luz amarilla se encendía si la FC de los sujetos estaba por debajo de un valor umbral (20 latidos/minuto menos que en la fase basal). Si el animal incrementaba su FC por encima del valor umbral, la luz amarilla se apagaba y el animal podía recibir algún *shock*.

Al igual que el entrenamiento para disminuir la FC, el entrenamiento para enseñar a los monos a ejecutar un ejercicio de levantamiento de pesos, constó de dos etapas.

Al inicio de la primera etapa, el peso a elevar era mínimo, y el animal recibía un *pallet* (de banana) cada vez que lo levantaba. Posteriormente, cuando el animal mostraba ya una buena ejecución, la razón se disminuía de forma progresiva, pasando de 1 *pallet*/levantamiento a 1:12 *pallet*/levantamiento.

La posibilidad de obtener reforzamiento por su ejecución se señalaba a través de una luz blanca que se encendía transcurridos 1,024 segundos de la sesión, y que permanecía encendida hasta el final de la misma.

Esta etapa de entrenamiento duraba entre 3 y 8 semanas a razón de 4 sesiones.

Durante la segunda etapa el programa de reforzamiento se sustituía por uno de evitación. Las características concretas del protocolo de evitación fueron las siguientes: 1) la luz blanca se encendía desde el inicio de la sesión, 2) 2 segundos después del inicio, y a través de unos auriculares, sonaban unos *clicks* a razón de 2 por segundo. Transcurrido un determinado período de tiempo ya programado, desde el comienzo de los *clicks*, el animal recibía un *shock* de 4,45 segundos y 10mA si no levantaba el peso. Si lo hacía, no recibía el *shock* y apagaba los *clicks* durante 2 segundos. Inicialmente, el intervalo entre el inicio de los *clicks* y la presencia del *shock* fue de 12 segundos. A medida que el animal mejoraba su ejecución, el intervalo se reducía a 4 segundos.

Esta etapa de entrenamiento duraba unas 12 semanas a razón de 4 sesiones semanales.

El entrenamiento combinado (reducción de la FC mientras realizaban ejercicio físico) también constaba de dos etapas.

Antes de iniciar la primera, se implantaba a los sujetos una cánula arterial para medir la presión intraarterial y se les dejaba descansar, para recuperarse de la intervención, durante 2 ó 3 semanas. Transcurridas éstas, se iniciaba la primera etapa que constaba de 4 sesiones, 2 de ejercicio y dos de reducción de la FC.

En la segunda etapa, los dos protocolos (ejercicio y reducción de FC) se combinaban -el animal debía cumplir las condiciones requeridas durante el entrenamiento en ejercicio y durante el entrenamiento en reducción de FC-.

La duración de este último entrenamiento era de 12 semanas (3 sesiones en cada una de ellas) a lo largo de las cuales se iba variando la dificultad.

En el primer estudio (Talan y Engel, 1986) se compararon, entre las condiciones de ejercicio y de ejercicio combinado con reducción de FC, las variables medidas: FC, presión sistólica y diastólica, concentración de CO_2 y O_2 en el aire expirado, producto frecuencia-presión (*rate-pressure product* (latidos/minuto) \times mmHg $\times 10^{-3}$) y número de levantamientos.

En todos los animales, el incremento de FC asociado al ejercicio fue significativamente menor en la condición de combinación que en la condición de ejercicio solo (el incremento medio de FC fue 41 latidos/minuto menor en la condición de combinación que en la condición de ejercicio).

Igualmente la presión diastólica y el producto frecuencia-presión fue siempre menor en la condición de combinación de los dos protocolos.

Sin embargo, se observaron diferencias individuales significativas en los restantes parámetros: presión sistólica, consumo de O_2 y de CO_2 .

Si bien todo ello parecía sugerir que las "órdenes" cardiovasculares y las somato-motoras podían emitirse independientemente, todavía cabía la posibilidad de que las respuestas cardiovasculares al ejercicio fueran efectos de tipo pasivo mediatizados por la actividad somato-motora.

Para contrastar esta hipótesis los autores diseñaron el segundo estudio (Engel y Talan, 1990a).

En éste las variables a comparar (FC, presión sanguínea intraarterial, consumo de O_2 , producción de CO_2 , y volumen sistólico) entre las condiciones de ejercicio y de ejercicio más reducción de FC, fueron medidas bajo condiciones de bloqueo selectivo, mediante drogas, de una u otra rama del sistema nervioso autónomo.

Más concretamente, y por este orden, se utilizó el atenolol como bloqueante b-adrenérgico, una mezcla de atenolol y prazosin para el doble bloqueo simpático (b y a) y metilatropina para el bloqueo parasimpático.

Todos los animales fueron capaces de reducir la taquicardia producida por el ejercicio en las diferentes condiciones de bloqueo, indicando así que las respuestas del sistema circulatorio durante el ejercicio no son efectos de tipo pasivo mediatizados por la actividad somato-motora o las necesidades metabólicas, sino que se trata de respuestas mediatizadas por el sistema nervioso central en respuesta a señales ambientales.

Finalmente, el tercer estudio es una replicación del primero que tenía por objetivo ampliar los resultados originales a través de la determinación de algunos concomitantes hemodinámicos y respiratorios del control voluntario de FC.

El procedimiento utilizado y las variables registradas fueron los ya descritos.

Nuevamente, los animales entrenados redujeron la taquicardia producida por el ejercicio. Además el doble producto (FC x presión sistólica) también disminuyó en las sesiones de combinación y en relación a las de ejercicio; y la FC fue siempre menor para niveles similares de volumen cardíaco, indicando que en la condición de combinación, los animales estaban trabajando con una mejor eficiencia cardíaca.

El análisis de consumo de O_2 , producción de CO_2 y cociente respiratorio (CO_2/O_2) sugirió que los animales podían haber llevado a los músculos en actividad una mayor cantidad de O_2 durante las sesiones de protocolo combinado.

Control mediante biorretroalimentación, control instruccional y autocontrol de frecuencia cardíaca

Dentro del ámbito de la bioretroalimentación (BR) en general, y de la BR de frecuencia cardíaca (FC) en particular, se suele distinguir entre *control mediante biofeedback*, *control instruccional* y *autocontrol*.

La delimitación precisa del significado de estos conceptos es importante tanto desde un punto de vista metodológico como teórico.

El *control mediante biofeedback* hace referencia a la capacidad del individuo para incrementar o disminuir su FC mientras dispone de *feedback* sensorial exterior. El *feedback* suele ir acompañado de instrucciones verbales para incrementar o disminuir la FC. Normalmente no se proporcionan estrategias concretas para conseguirlo.

Este tipo de "control" debe distinguirse del *control instruccional*, que es la capacidad del sujeto para controlar su FC ante la instrucción verbal correspondiente, pero sin recibir ningún tipo de *feedback* sensorial exterior (Blanchard y Epstein, 1977).

Según Vila y Pegalajar (1982) existen dos procedimientos para medir la contribución diferencial del *feedback* y de las instrucciones verbales: a) comparar una fase *pre-feedback* (instrucciones) con una fase de *feedback* en cada sesión de entrenamiento, b) utilizar un

grupo control instruido a cambiar la FC en la dirección requerida, pero al que en ningún momento se le proporciona *feedback*.

Por su parte, el término *autocontrol*, en sentido estricto y en el contexto de los estudios sobre BR hace referencia a la transferencia de los efectos del entrenamiento con *feedback* a períodos en los que el *feedback* ya no se presenta al sujeto (Vila y Pegalajar, 1982). En otras palabras: después que el sujeto ha sido entrenado con BR se le pide que produzca los mismos cambios en FC utilizando las estrategias que ha aprendido, pero no se proporciona *feedback*.

De este modo, el autocontrol y el control instruccional se diferencian en que: el primero hace referencia a la capacidad para modificar la FC mediante las estrategias aprendidas en un período previo de entrenamiento con *feedback* y el segundo se refiere a la capacidad para modificar la FC ante la simple instrucción verbal y sin entrenamiento previo con *feedback*.

5. BIORRETROALIMENTACIÓN DE FRECUENCIA CARDIACA DURANTE EL EJERCICIO

Una vez resumidos aquellos aspectos de la investigación básica sobre BR de FC que consideramos de especial interés, en los siguientes apartados describiremos los principales estudios sobre BR de FC en el área de la actividad física y el deporte que tienen por objetivo global mejorar el rendimiento a través del autocontrol de esta variable fisiológica.

En general, dichos estudios pueden clasificarse en dos grandes categorías, en función de la forma en la que se lleva a cabo la contracción muscular: *BR de FC en ejercicio estático* (cuando no existe modificación alguna de la longitud del músculo, y por lo tanto ni movimiento, ni trabajo) y *BR de FC en ejercicio dinámico* (cuando las fibras musculares se acortan -concéntrico- o se alargan -excéntrico- originándose el desplazamiento de las superficies articulares y, consecuentemente, movimiento y trabajo).

Antes de describir propiamente los estudios sobre BR de FC en ejercicio dinámico, consideramos conveniente presentar unas breves nociones de ergometría.

La valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico de un sujeto, que podríamos definir como la evaluación objetiva de las

capacidades funcionales de dicho sujeto para realizar una tarea deportiva o motriz (González, 1992), requiere el registro y la medición de una o más variables fisiológicas durante la realización por parte del sujeto de una o varias tareas motrices.

Esta evaluación de la adaptación funcional del organismo a la actividad física solo es válida si el registro se obtiene directamente en pruebas de campo, o si se reproduce de forma específica la tarea atlética en el laboratorio a través de una prueba de esfuerzo. Esta última posibilidad ha conllevado el diseño de complejos sistemas de valoración en los que desempeñan un papel clave los ergómetros, y consecuentemente, un desarrollo general de todo el campo de la ergometría.

La *ergometría* es “la rama clínica de la fisiología que se ocupa de la medición de las adaptaciones funcionales durante el esfuerzo” (González, 1992, p.237). Y su instrumento básico es el ergómetro.

Un *ergómetro* es “un aparato que nos permite dosificar las cargas físicas de trabajo aplicables en una prueba de esfuerzo, oponiendo al sujeto una resistencia perfectamente cuantificable, u obligando al deportista a realizar un movimiento determinado” (González, 1992, p.241).

Existen diferentes tipos de ergómetros: banco o escalones, ergómetro de manivela, remoergómetro, tapiz o cinta rodante, cicloergómetro, etc. De todos ellos, los más utilizados son los dos citados en último lugar: el *tapiz o cinta rodante*, que permite prefijar la intensidad a la que el sujeto camina o corre dependiendo del ángulo de inclinación y de la velocidad aplicados, y el *cicloergómetro*, que permite al sujeto simular los movimientos que habitualmente se realizan sobre la bicicleta al tiempo que se cuantifica la resistencia al pedaleo.

Ambos tipos de ergómetros permiten la realización de *pruebas de esfuerzo máximas* (aquellas en las que, o bien se alcanza toda la capacidad de esfuerzo de que es capaz un individuo -medida a través del consumo de O_2 o asumida a partir de una carga máxima o una FC máxima calculadas de forma previa para cada sujeto-, o bien, se llega al agotamiento muscular) y de *pruebas de esfuerzo submáximas* (aquellas en las que se fija previamente el punto final del esfuerzo en una frecuencia cardíaca submáxima-60, 70, 80% de la frecuencia cardíaca máxima-, una carga inferior a la máxima, o algún otro criterio).

Biorretroalimentación de frecuencia cardíaca en ejercicio estático

En este apartado describiremos los dos únicos estudios que conocemos sobre BR en ejercicio estático. (Clemens y Shattock, 1979; y Moses, Clemens y Brener, 1986).

Describiremos en primer lugar los aspectos de procedimiento comunes a las dos investigaciones. En ambos estudios los sujetos participaron en cuatro sesiones experimentales. Las tres primeras estaban divididas en dos subgrupos de ensayos. Del 1 al 16 eran, en ambos casos, ensayos de entrenamiento en control (incremento y decremento) de frecuencia cardíaca (FC) mediante *biofeedback*, mientras que los ensayos restantes, (3 en el estudio de Clemens y Shattock (1979), y los 6 ensayos siguientes, en el caso del estudio de Moses et. al. (1986)), los sujetos debían ejecutar contracciones musculares, (concretamente apretar su mano derecha), equivalentes al 10, 30 y 50% de su valor de contracción muscular máximo, determinado previamente, al inicio de la sesión. La composición de cada uno de los ensayos era la misma en los dos estudios: 30 segundos de reposo, 60 segundos de entrenamiento (o de contracción), y 30 segundos de recuperación. Finalmente, en la cuarta sesión (en ambas investigaciones), los sujetos debían combinar las dos tareas: intentar incrementar o reducir su FC al mismo tiempo que realizaban contracciones de su mano derecha al nivel indicado (10, 30, 50% de su nivel de contracción máximo).

Las diferencias entre ambos estudios radican en: a) el tamaño de la muestra utilizada: 8 sujetos en el caso de Clemens y Shattock, vs. 20 sujetos en el estudio de Moses, Clemens y Brener; b) el diseño experimental: los 8 sujetos del estudio de Clemens y Shattock constituyen un único grupo, de modo que todos los participantes recibieron entrenamiento en BR de FC, pero no hubo ningún "grupo control". Los 20 sujetos (varones) del estudio de Moses, et.al. fueron distribuidos en dos grupos: un primer grupo (experimental) que recibía *biofeedback* para aprender a autocontrolar su FC y un segundo grupo (control) que únicamente se diferenciaba del anterior en la no presentación de *biofeedback*.

Los resultados obtenidos son parcialmente diferentes: en el estudio de Clemens y Shattock se obtuvieron cambios significativos en la FC durante las cuatro sesiones y en ambas direcciones, por lo que los autores concluyen que los sujetos son capaces de controlar voluntariamente su FC a través de *biofeedback* durante la realización de esfuerzos musculares estáticos.

Por su parte Moses, Clemens y Brener encontraron que durante las tres primeras sesiones los sujetos incrementan y reducen su FC de forma significativa en relación a sus niveles basales. Sin embargo, durante la cuarta sesión los participantes únicamente incrementan su FC de forma significativa, pero no son capaces de reducirla, por lo que sus resultados solo apoyan parcialmente los del estudio anterior. Además, y tal vez más importante, no encontraron diferencias en FC entre el grupo experimental y el control, de modo que se cuestiona la utilidad del *feedback* exteroceptivo como factor determinante de la habilidad para autocontrolar la FC durante la realización de esfuerzos musculares de tipo estático.

Biorretroalimentación de frecuencia cardíaca en ejercicio dinámico

El primer estudio con técnicas de BR de FC en el ámbito del deporte y la actividad física del que tenemos conocimiento, es el realizado por Goldstein, Ross y Brady en 1977.

Estos autores realizaron una investigación con una muestra mixta compuesta por 18 personas, que fueron divididas al azar en dos grupos experimentales: un grupo *experimental-control* (G. E-C) compuesto por ocho sujetos, y un grupo *control-experimental* (G.C-E) compuesto por nueve sujetos.

Ambos grupos fueron sometidos a un total de diez sesiones distribuidas de la siguiente manera:

En el grupo *experimental-control*. durante las sesiones 1 a 5 los sujetos recibían la instrucción de reducir su FC mientras caminaban en una cinta rodante a una velocidad de 4 Km/h y un 6% de inclinación ayudándose para ello de cuatro tipos diferentes de *feedback*: la salida del cardiotacómetro (gráfica de la tendencia de la FC en el tiempo), un marcador digital (pulsaciones/minuto), una luz que se iluminaba al final del intervalo R-R, y permanecía encendida hasta el próximo intervalo R-R, si este era menor que un criterio fijado previamente, un comentario sobre la ejecución durante la sesión, si el sujeto lo pedía.

Durante las sesiones 6 a 10 los sujetos recibían la instrucción de intentar reducir su FC, igual que lo habían hecho en las sesiones previas pero sin disponer de *feedback*.

En el grupo *control-experimental* durante las sesiones 1 a 5 la mitad de los sujetos recibían la instrucción de reducir su FC mientras

caminaban sobre el tapiz y la otra mitad la de caminar normalmente sobre el tapiz sin intentar reducir su FC, pero ninguno de los subgrupos recibía *biofeedback*.

Durante las sesiones 6 a 10 todos los sujetos recibían la instrucción de reducir su FC mientras caminaban sobre el tapiz, ayudándose para ello de los mismos tipos de *feedback* de que disponía el grupo experimental-control, durante las sesiones 1 a 5.

Los resultados obtenidos mostraron que el G.E-C redujo su FC durante las sesiones experimentales y que mantuvo esas reducciones durante las sesiones de autocontrol, es decir cuando le fue retirado el *feedback*. Sin embargo, el grupo C-E, que recibió *feedback* durante las sesiones 6 a 10, no consiguió reducir su FC durante estas sesiones a pesar de disponer de los mismos tipos de *biofeedback* que el grupo experimental.

Recientemente llevamos a término (Álvarez, Villamarín, Cruz, 1995), en el Laboratorio de Psicología del Deporte de nuestra Universidad, una replicación del trabajo que acabamos de describir, donde nos planteamos los siguientes objetivos: (A) Estudiar la posibilidad de control voluntario de FC; (B) estudiar el posible efecto, sobre el control de FC, del orden de aplicación del entrenamiento en BR; (C) comparar el efecto del entrenamiento con BR con el efecto de la simple práctica sobre la disminución de FC.

En relación con dichos objetivos, los resultados obtenidos pueden resumirse del modo siguiente: parecen apoyar la eficacia de las técnicas de BR para posibilitar el control voluntario de FC durante pruebas de esfuerzo en tapiz rodante; permiten descartar, hasta cierto punto, la posibilidad de atribuir las disminuciones de FC a la simple práctica; y parecen indicar con claridad la conveniencia de aplicar las técnicas de BR de FC durante las primeras sesiones de entrenamiento en tapiz rodante.

A partir de los resultados obtenidos por Goldstein et.al. (1977), en base a los cuales parecía lógico pensar que las personas eran capaces de aprender a reducir los incrementos de FC inducidos por el ejercicio a través del *biofeedback* de esta variable, así como de generalizar dicho aprendizaje a las situaciones en las que el *biofeedback* ya no está presente, diversos grupos de investigadores se interesaron por el tema.

Uno de los equipos que más ha trabajado dentro de este ámbito es el formado por Perski y colaboradores. De hecho, uno de los primeros estudios, después del inicial de Goldstein et al. (1977), fue

realizado por Perski y Engel en 1980. En él los investigadores asignaron a los diez sujetos participantes a uno de dos grupos.

Los cinco sujetos del *grupo experimental* (GE) participaron en un total de siete sesiones. Durante las cinco primeras recibían entrenamiento en BR de FC para aprender a controlar dicha variable, al tiempo que pedaleaban en un cicloergómetro con una carga fija; en las dos sesiones restantes debían intentar autocontrolar su FC, es decir, producir cambios en la misma sin la ayuda de la BR, mientras realizaban la misma prueba de esfuerzo.

Las cinco personas del *grupo control* (GC), participaron en un total de diez sesiones, (tres más que sus compañeros). Las cinco primeras sirvieron de control respecto al grupo experimental, de forma que, a pesar de ejecutar la misma prueba de esfuerzo que sus compañeros, los sujetos de este grupo no recibían ningún tipo de entrenamiento en BR de FC durante el ejercicio (similar al del grupo experimental).

Los resultados obtenidos mostraron que los sujetos entrenados con BR de FC mientras ejecutaban la prueba de esfuerzo aprendieron a controlar su FC (sesiones 1ª a 5ª para el GE y 6ª a 10ª para el grupo control) y mantuvieron este control ya sin *biofeedback* - autocontrol- durante las sesiones de generalización (de la 6ª a la 7ª del GE).

Resultados parcialmente similares a los que acabamos de exponer, fueron obtenidos por Perski y su equipo en otros dos estudios (Perski, Tzankoff y Engel (1985) y Fredrikson y Engel (1985)). Al igual que en la investigación ya descrita, el objetivo principal de estos dos nuevos estudios fue el de comprobar la eficacia de la BR de FC como técnica para controlar esta variable en pruebas de esfuerzo; sin embargo, en estas investigaciones no se realizaron pruebas de autocontrol.

En el primero de los estudios citados (Perski, Tzankoff y Engel, 1985) participaron diez estudiantes de sexo masculino que fueron repartidos al azar en dos grupos: un grupo experimental (GE) y un grupo control (GC).

Los sujetos pertenecientes al grupo experimental participaron en un total de seis sesiones: cuatro de entrenamiento en BR de FC mientras pedaleaban en un cicloergómetro, y dos más, una previa y otra posterior a dicho entrenamiento, en las que los sujetos ejecutaban una prueba submáxima y una prueba máxima de esfuerzo. Por su parte, los sujetos pertenecientes al grupo control participaron

en diez sesiones. La primera y la sexta eran idénticas a las de GE, sin embargo, el entrenamiento en BR de FC no se realizaba durante las cuatro sesiones intermedias (2 a la 5) que actuaban como control, sino que se realizaba a lo largo de las cuatro sesiones adicionales (6 a 10).

Los resultados obtenidos, al igual que en la investigación anterior, apoyaron la eficacia de la BR de FC para disminuir los incrementos de FC inducidos por el ejercicio.

Idéntica conclusión se obtuvo en el estudio de Fredrikson y Engel de 1985, en el que se compararon dos grupos de seis sujetos cada uno: un grupo experimental (GE) que recibió seis sesiones de entrenamiento en BR de FC mientras pedaleaban en un cicloergómetro y un grupo control (GC) que no recibió ningún tipo de entrenamiento.

Por otra parte, Lo y Johnston (1984) realizaron dos investigaciones más dentro de este ámbito.

En ambas investigaciones se estudiaron muestras compuestas por 36 estudiantes universitarios voluntarios que fueron divididos al azar en tres grupos de doce sujetos cada uno.

En el primer estudio se compararon un grupo de relajación, uno de habituación y uno de *biofeedback* del producto IBI X RPI (intervalo entre latidos x tiempo del tránsito de pulso).

Los sujetos de los tres grupos fueron sometidos a un total de cuatro sesiones (dos con ejercicio -pedalear en un cicloergómetro- y dos sin ejercicio). Al grupo experimental, que recibía BR del producto, se le dio la instrucción de intentar reducir su FC ayudándose del *feedback*, tanto en las sesiones con ejercicio, como en las sesiones sin ejercicio.

El grupo de habituación recibió la instrucción de pedalear en el cicloergómetro o de quedarse quieto, en función de que la sesión fuera con ejercicio o sin ejercicio, pero en ninguno de los dos casos se les pidió que intentaran modificar su FC.

Y, finalmente, el grupo de relajación recibió la instrucción de intentar reducir su FC usando técnicas de relajación en ambos tipos de sesiones.

Los resultados obtenidos mostraron que, durante la realización del ejercicio, el *feedback* del producto (IBI X RPI) se mostró más efectivo que la relajación o la habituación (simple práctica) a la hora de reducir los incrementos de FC inducidos por el ejercicio físico.

En el segundo se compararon un grupo de instrucciones verbales (control instruccional) un grupo de *biofeedback* del intervalo entre

Tabla 1.- Principales investigaciones sobre BR de FC durante el ejercicio dinámico

AUTOR/AÑO	TIPO ERGÓMETRO GRADO DE ESFUERZO TIPO DE PRUEBA	CONDICIONES EXPERIMENTALES (GRUPOS Y NºSESIONES)	TIPOS DE FEEDBACK (INSTRUCCIONES)	RESULTADOS CON BIOFEEDBACK	RESULTADOS (AUTOCONTROL).
GOLDSTEIN Y ROSS (1977)	Tapiz rodante . Prueba submáxima (PSM) 4 Km/h y 6%.	Grupo E-C (n=8). Grupo C-E (n=10). Nº sesiones = 10 .	Salida digital. Gráfica FC en el tiempo. Señal luminosa. Comentario ejecución.	Disminución de los valores de FC en el grupo E-C.	Generalización del aprendizaje a las sesiones sin BR.
PERSKI Y ENGEL (1980)	Cicloergómetro. Prueba submáxima (PSM) 50%. FC máxima	Grupo Exp. (n=5). Grupo Control (n=5). Nº sesiones= 7 (G.E.) y 10 (G. C.)	Salida digital. Gráfica FC en el tiempo. Señal luminosa (2 tipos).	Disminución de los valores de FC durante las sesiones de entrenamiento de ambos grupos.	Generalización del aprendizaje a las sesiones sin BR del grupo experimental.
LO Y JOHNSTON (1984)	Cicloergómetro.	Grupo Inst. (n=12). Grupo F.IBI. (n=12). Grupo F.IBI X RPI (n=12) Nº sesiones=5	Señal luminosa. Desviación FC respecto a sus niveles basales.	El grupo IBI X RPI fue el más efectivo a la hora de reducir la FC.	No se dan diferencias entre los grupos al retirar la BR.
PEERSKI, TZANKOFF Y ENGEL (1985)	Cicloergómetro. PSM 65% FC máxima + Prueba máxima (PM)	Grupo Exp. (n=5). Grupo Control (n=5). Nº Sesiones= 6 (G.E.) y 10 (G.C.)	Salida digital. Gráfica FC en el tiempo. Señal luminosa.	Disminución de la FC durante las sesiones de entrenamiento de ambos grupos.	No hubo generalización del aprendizaje a las sesiones sin BR.
FREDRIKSON Y ENGEL (1985)	Cicloergómetro. Carga:33 waltos.	Grupo Exp. (n=6). Grupo Control (n= 6). Nº Sesiones= 6.	Salida digital. Gráfica FC en el tiempo. Señal luminosa (2 tipos).	Disminución de la FC del G. Exp. En relación al Grupo Control.	No hubo sesiones de autocontrol.
VALIENTE Y CAPDEVILA (1994)	Cicloergómetro Pruebas máximas (50%- 75% y 100%)	Diseños de caso único	Salida digital	Atenuación de la FC. Diferencias entre fases experimentales	
ÁLVAREZ (1994)	Tapiz rodante. Prueba submáxima 4 Km/h y 6%.	Grupo E-C (n=4). Grupo C-E (n=4). Grupo C-C (n=2) Nº sesiones = 8 .	Salida digital. Gráfica FC en el tiempo.	Disminución de los valores de FC en el grupo E-C.	No hubo generalización del aprendizaje a las sesiones sin BR.

latidos (IBI) y un grupo de biofeedback del producto IBI X RPI (intervalo entre latidos x tiempo del tránsito de pulso).

Los sujetos de los tres grupos, participaron en un total de cinco sesiones. Durante las cuatro primeras tanto los sujetos de la condición IBI, como los de la condición IBI X RPI recibieron la instrucción de reducir su FC ayudándose del *feedback*, cuyo funcionamiento se les explicaba detalladamente. Los sujetos de la condición "instrucciones verbales" recibieron idénticas instrucciones de reducir su FC pero no disponían de *feedback*. En la quinta sesión se suprimió el *feedback* para todos los grupos, y se les instruyó para que intentaran reducir su FC, igual que en las sesiones previas.

Los resultados obtenidos confirmaron que el *feedback* de IBI X RPI en comparación, en este caso, con las meras instrucciones verbales, favorece en mayor medida la adquisición de control sobre la FC cuando el *feedback* está presente. Sin embargo, este control adquirido no se mantuvo cuando se retiró dicho *feedback*, de modo que en la sesión final, cuando ninguno de los grupos disponía de *biofeedback* (autocontrol) no existieron diferencias entre los grupos en el control de FC.

En la tabla 1 se presenta un resumen de las investigaciones revisadas en este apartado.

6. CONCLUSIONES

Finalmente, quisiéramos resaltar, a modo de conclusión alguno de los aspectos más importantes tratados en este trabajo:

a) En el campo de la actividad física y el deporte las técnicas de BR se han utilizado con las siguientes finalidades: disminuir la ansiedad pre-competitiva, regular el nivel de activación, la rehabilitación muscular, después de lesiones, ayudar al aprendizaje de gestos y movimientos técnicos, y mejorar la eficiencia cardíaca y en consecuencia el rendimiento deportivo en tareas de resistencia física.

La mayoría de las investigaciones sobre BR en el ámbito del deporte y la actividad física corresponden a este último aspecto y la variable más estudiada ha sido la FC

b) La investigación básica sobre las variables paramétricas que afectan a la eficacia de la BR de FC indica que: la inmediatez del *feedback* y el conocimiento de la variable a controlar facilitan el

control mediante BR de la FC; aunque los datos sobre la eficacia de la modalidad sensorial y la continuidad temporal del *feedback* no son concluyentes, en las investigaciones posteriores a 1973 se suele usar *feedback* visual continuo; por lo que respecta al número de sesiones de entrenamiento, en las investigaciones más recientes (posteriores a 1973), se suelen utilizar entre 5 y 10 sesiones; no parece que la distribución (el espaciamiento) temporal de las sesiones, ni la utilización de incentivos adicionales (como dinero) afecten a la eficacia de la BR de FC.

Por lo que respecta a los resultados de estas investigaciones (magnitud de los cambios conseguidos en FC) queremos destacar lo siguiente: se consiguen mayores cambios en incremento que en disminución de FC; los cambios en disminución de FC, en diseños entre grupos, suelen variar entre un promedio de 3 latidos/minuto y 5 latidos/minuto; existen grandes diferencias individuales entre sujetos para controlar la FC.

En relación con la debatida cuestión del control directo versus control mediacional de la FC, los experimentos con monos de Engel y Talam (1991) parecen demostrar que se puede conseguir un control directo de FC (sin mediación de otras variables fisiológicas). Estos resultados no implican, sin embargo, que cuando se aplica BR para controlar la FC en humanos el control se consiga, necesariamente, de forma directa, ya que en este caso no se neutralizan las posibles variables fisiológicas mediadoras.

c) Creemos muy interesante distinguir entre control instruccional de FC, control mediante BR de FC y autocontrol de FC. Por control instruccional se entiende la capacidad del sujeto para controlar su FC ante la instrucción verbal correspondiente, pero sin ningún tipo de *feedback* sensorial externo (y sin entrenamiento previo en BR). El control mediante BR consiste en la capacidad para incrementar o disminuir su FC, con la ayuda de *feedback* sensorial externo. El autocontrol se refiere a la capacidad del sujeto para controlar la FC, después de haber sido entrenado con BR, y utilizando las estrategias aprendidas, pero sin la ayuda de *feedback*.

La implicación más importante de esta distinción es que, cuando se trata de investigar la eficacia de un procedimiento de BR para controlar una determinada variable fisiológica, la estrategia de control más exigente y adecuada es un grupo de sujetos de "control instruccional". Esta condición experimental constituye el control más puro posible de la eficacia de la BR de FC, ya que contiene todos

los elementos de la condición experimental -BR de FC- menos el elemento específico: el *feedback*.

Por otra parte, el autocontrol es el objetivo último del entrenamiento con técnicas de BR, si bien es verdad que en muchas de las investigaciones empíricas no se comprueba si los sujetos son capaces de controlar la frecuencia cardíaca sin ayuda del *feedback*.

d) Por lo que respecta a las investigaciones sobre BR de FC en ejercicio dinámico cabe destacar los siguientes aspectos:

En todas estas investigaciones los sujetos consiguieron controlar (disminuir) su FC con ayuda del *feedback*, (ha de tenerse en cuenta, no obstante, que la cantidad de esfuerzo exigido a los sujetos durante el ejercicio en el ergómetro correspondiente era de intensidad baja o moderada); solo en 4 (de 8) de estos trabajos se realizaron comprobaciones del autocontrol de FC. De estos 4, solo en 3 se consiguió un cierto control voluntario de la FC cuando ya no se dispone de *feedback*; solo en uno (de ocho) de estos estudios se incluyó un grupo control tipo "control instruccional".

e) En nuestra opinión, de todo lo anterior se derivan las siguientes implicaciones para la investigación futura:

Las investigaciones sobre biorretroalimentación de frecuencia cardíaca durante pruebas de esfuerzo deberían incluir, para poder atribuir el control de la frecuencia cardíaca al *biofeedback*, una condición de control tipo "control instruccional". (Ello sin menoscabo de que se utilice también un grupo control en que los sujetos realicen simplemente el ejercicio correspondiente en el ergómetro sin instrucciones de control)

Deberían explorarse las posibilidades de control de la frecuencia cardíaca mediante biorretroalimentación utilizando pruebas de esfuerzo de intensidad moderada-alta. La variable intensidad del esfuerzo sería uno de los parámetros a explorar en este tipo de estudios.

Dado que el objetivo último del entrenamiento con biorretroalimentación es conseguir el control voluntario de la variable fisiológica correspondiente sin ayuda de los aparatos, convendría incluir en todos los estudios alguna sesión de autocontrol para comprobar si realmente se ha conseguido dicho control voluntario.

Un último aspecto con implicaciones de cara al diseño de investigaciones futuras es el siguiente. El objetivo último de estos estudios es mejorar el rendimiento conductual a través del control (disminución) voluntario de la frecuencia cardíaca. Sin embargo, prácticamente nunca se ha comprobado la influencia real de la mejora de

la eficiencia cardíaca sobre la mejora del rendimiento en pruebas de esfuerzo. Convendría, en el futuro, diseñar investigaciones que analicen empíricamente la relación entre estas dos variables.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, M.** (1994). *Biorretroalimentación durante el esfuerzo ergométrico: un estudio sobre la posibilidad de autocontrol de frecuencia cardíaca*. Trabajo de investigación de doctorado inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Álvarez, M., Villamarín, F. y Cruz, J.** (1995). La biorretroalimentación como técnica para autorregular la frecuencia cardíaca durante el ejercicio dinámico: un análisis experimental. *Análisis y Modificación de Conducta*, 21(80), 823-844.
- Carrobes, J.A.I. y Godoy, J.** (1987). *Biofeedback. Autocontrol de funciones biológicas y trastornos psicósomáticos*. Barcelona: Martínez Roca.
- Clemens, I.W. y Shattock, R.J.** (1979). Voluntary heart rate control during static muscular effort. *Psychophysiology*, 16(4), 327-332.
- Engel, B.T. y Talan, M.I.** (1991a). Autonomic blockade does not prevent learned heart rate attenuation during exercise. *Physiology & Behavior*, 49, 373-382.
- Engel, B.T. y Talan, M.I.** (1991b). Hemodynamic and respiratory concomitants of learned heart rate control during exercise. *Psychophysiology*, 28(2), 225- 230.
- Fredrikson, M. y Engel, B.T.** (1985). Learned control of heart rate during exercise in patients with borderline hypertension. *European Journal of Applied Physiology*, 54, 315-320.
- Goldstein, D.S., Ross, R.S. y Brady, J.V.** (1977). Biofeedback heart rate training during exercise. *Biofeedback and Self-regulation*, 2(2), 107-125.
- González, J.** (Ed.) (1992). *Fisiología de la actividad física y del deporte*. Madrid: Interamericana - McGraw-Hill.
- 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.
- Labrador, F.J.** (1984). Técnicas de biofeedback. En J.Mayor y F.J. Labrador (Eds.) *Manual de Modificación de Conducta*. Madrid: Alhambra.
- 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 Sciences*, (pp 63-105). New York: Plenum Press.

- Landers, D.M.** (1988). Improving motor skills. En D. Druckman y J.A. Swets (Eds.) *Enhancing Human Performance*. (pp. 61-101). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Lo, Ch.R. y Johnston, A.N.** (1984). Cardiovascular feedback during dynamic exercise. *Psychophysiology*, 21(1), 199-206.
- McCanne, T. y Sandman, C.** (1976). Human operant heart rate conditioning: the importance of individual differences. *Psychological Bulletin*, 83, 581-601.
- Moses, J., Clemens, W.J. y Brener, J.** (1986). Bidirectional voluntary heart rate control during static muscular exercise: metabolic and respiratory correlates. *Psychophysiology*, 23(5), 510-520.
- Palmi, J. y Gordillo, A.** (1986). Les tècniques de biofeedback aplicades a l'activitat física. *Apunts d'Educació Física*, 5, 66-70.
- Pegalajar, J. y Vila, J.** (1983). Biofeedback de la tasa cardíaca en humanos (2): el problema de la mediació i els models teòrics. *Psicològica*, 4(2), 113-141
- Perski, A. y Engel, B.T.** (1980). The role of behavioral conditioning in the cardiovascular adjustment to exercise. *Biofeedback and Self-Regulation*, 5(1), 91-104.
- Perski, A., Tzankoff, S.P. y Engel, B.T.** (1985). Central control of cardiovascular adjustments to exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58(2), 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.
- Pintanel, M.** (1994). *Patrons respiratoris i percepció de l'esforç d'esportistes i sedentaris, en tapis rodant*. Trabajo de investigación de doctorado inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Salazar, W., Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Crews, D.J., Kubitz, K.A. y Han, M.W.** (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 351-359.
- Sandweiss, J.H. i Wolf, S.L.** (1985). *Biofeedback and Sports Sciences*. New York: Plenum Publishing Corporation.
- Talan, M.I. y Engel, T.** (1986). Learned control of heart rate during dynamic exercise in nonhuman primates. *Journal Applied Physiology*, 61(2), 545-553.
- Valiente, L.** (1994). *Biorretroalimentació de la freqüència cardíaca en proves d'esforç amb cicloergòmetre*. Trabajo de investigación de doctorado inédito. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Valiente, L.** (1996). *Efectes de la biorretroalimentació 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.

- Vila, J.** (1980). Biofeedback y auto-regulación. *Análisis y Modificación de Conducta*, 6, 11-12.
- Vila, J. y Pegalajar, J.** (1982). Biofeedback de la tasa cardíaca en humanos (1): características paramétricas y diferencias individuales. *Psicológica*, 3(1), 25-59.
- Weiner, W.** (1980). *Human Motivation*. New York: Holt, Reinhart & Winston.
- Wilson, V.E. y Bird, E.** (1981). Effects of relaxation and/or biofeedback training upon hip flexion in gymnasts. *Biofeedback and Self-Regulation*, 6, 25-34.
- Zaichowsky, L.** (1986). The role of Biofeedback in exercise and athletic performance. En ISSP International Society of Sport Psychology, Sport Psychology Theory and Practice, (pp 161-171). Sweden: Veje Publication.
- Zaichowsky, L.** (1989). Biofeedback and anxiety management in sport. En J.V. Basmajian. *Biofeedback: principles and practice for clinicians*, (pp. 56-64). Baltimore (USA): Williams and Wilkins.
- Zaichowsky, L.D. y Fuchs, C.Z.** (1988). Biofeedback applications in exercise and athletic performance. *Exercise and Sport Science Reviews*, 16, 381-421.