

BIORRETROALIMENTACION DE TASA CARDIACA, PRESION SANGUINEA Y POTENCIALES CORTICALES LENTOS'

NIELS BIRBAUMER*

Universidad de Tübingen, Alemania Federal

Studies on the biofeedback of heart rate, blood pressure, and slow cortical potentials, are presented. Their implications for behavior therapy are pointed out. The research done by the author and his associates is analyzed. In spite of the shortcomings of our current knowledge in several areas, the study of the physiological bases of biofeedback is considered a very promising field of investigation.

A. TASA CARDIACA (TC)

1. *Registro y Medición*

Las secuencias de la despolarización durante la excitación de los ciclos cardiacos, se registra con el EGG. Para la medición de la tasa cardiaca (TC) interesa solamente el complejo QRS, este se asocia con la excitación de los ventriculos. La onda R mayor tiene una amplitud alrededor de los 2 mv. Un ECG es el registro de la diferencia de potencial entre dos puntos cualquiera de la superficie del cuerpo. Para los fines de la terapia del comportamiento y de la psicofi-

1 Trabajo financiado por la Deutsche Forschungsgemeinschaft (Ayuda A, Bi 195). El trabajo precedente de nuestro laboratorio, que se presenta aqui, fue realizado junto con Th. Elbert, V. Lutzenverger y B. Rockstroh. Este articulo se escribió siendo su autor profesor visitante en la Universidad de Wisconsin. El profesor P. J. Lang (Madison) contribuyó con muchas ideas a este articulo, y al trabajo del autor en general.

• Dirección: Niels Birbaumer, Department of Clinical and Physiological Psychology, University of Tübingen, Gartenstrasse 29, D-7400 Tübingen, West Germany.

siología se utiliza el electrodo bipolar convencional entre los dos brazos o dos electrodos colocados sobre la parte más baja de la caja torácica.

Los cambios de latido a latido del corazón se evalúan generalmente mediante un cardiotaquímetro que mide el intervalo de tiempo entre dos ondas R después de la amplificación de los potenciales originales.

Otra posibilidad es convertir al EGG original en intervalos R - R utilizando un aparato de Schmitt y un computador. La información del intervalo entre dos impulsos se convierte subsecuentemente en tasa por segundo, siendo cada latido evaluado con base en la proporción del segundo durante el cual se presenta. (Gatchel y Lang, 1973).

Para la evaluación de los cambios físicos de la TC, después de estímulos cortos y de acuerdo a Gatchel y Lang (1973), puede utilizarse el siguiente sistema de puntaje: la TC en latidos por minuto (lpm) se marca como la diferencia entre la línea de base y algunos cambios de máximo-minimo de estímulos posteriores, promediados con base en las presentaciones de estímulos sucesivos en la misma manera como se calcula el promedio de la respuesta cortical evocada.

2. *Fundamentos Fisiológicos*

La capacidad cardíaca se define como la cantidad de sangre eyectada cada minuto por uno de los ventrículos. Esta cantidad es función de la TC multiplicada por el volumen del golpe del corazón. El volumen del golpe representa el volumen de sangre en el ventrículo al final de la diástole, menos el volumen ventricular al final de la sístole. Con un volumen diastólico consistente, la TC covaría de modo general con la capacidad cardíaca.

La TC es rítmica intrínsecamente pero se modula por la acción neuronal con base en el sistema nervioso simpático y parasimpático. La acción parasimpática es responsable del decrecimiento colinérgico de la TC; los nervios simpáticos adrenérgicos inducen la aceleración de la TC. Ambos nervios tienen su centro regulador en la médula junto con un centro vasoconstrictor simpático que causa la vasoconstricción del árbol arterial periférico y un aumento en la presión arterial (véase más abajo; también Schneiderman, Pauth y Dercar 1974). Los químico-receptores de la curvatura aórtica y del seno carotídeo envían información al centro regulador cardio-vascular, sobre el consumo de sangre. Los barorreceptores de la curvatura aórtica, el seno carotídeo y los vasos sanguíneos envían información sobre la presión de la sangre. El incremento del CO_2 en la sangre o el decremento del O_2 en la sangre causan el aumento de la TC (por la vía del centro acelerador simpático). El incremento de la

presión sanguínea estimula el centro inhibitor por la vía de los barorreceptores causando la disminución de la TC y el decremento de la presión sanguínea (Brener, 1967).

La TC de un adulto en posición descansada varía alrededor de 70 lpm. La TC más baja que 60 lpm (bradicardia) o más alta que 100 lpm (taquicardia), asumiendo una posición descansada se toma normalmente como un signo de patología en el sistema cardiovascular. Durante el ejercicio la TC puede alcanzar 200 lpm.

8. *Significado Psicofisiológico*

Aquí solamente presentaremos dos criterios acerca del significado psicofisiológico de los cambios de la TC, la teoría del fraccionamiento direccional de Lacey y Lacey y el criterio de Obrist del acoplamiento somático cardíaco (para una introducción véase a **Hassen** 1978).

Lacey y Lacey argumentan que la "entrada ambiental" se acopla con la desaceieración de la TC de fase y el alerta cortical por la vía de la actividad barorreceptora (la disminución de la presión sanguínea activa los centros barorreceptores incrementando la TC y el alerta cortical y viceversa). La "exclusión ambiental" se acopla con la aceleración de la TC de fase y con la inhibición cortical (medida mediante potenciales corticales lentos; véase más abajo).

Este criterio se afianza en un paradigma de dos estímulos, con respecto a cambios promedio y moderados de la TC y a la negatividad cortical medida mediante potenciales corticales lentos (PCL) (Lutzenberger, Elbert, Rockstroh y Birbaumer, 1979). Sin embargo otros autores presentaron evidencias contradictorias sobre este asunto (véase Lang, 1971 para una revisión).

Obrist y colaboradores presentaron evidencias en favor de la interpretación de la TC como una medida periférica de la actividad somática total en vez de ser una causa de cambios en el CNS. La desaceieración se correlaciona con una demanda metabólica reducida en el sistema muscular, y viceversa. Ambas dependen de una actividad reguladora compleja del CNS sobre las funciones cardiovasculares, según las demandas internas y ambientales. De acuerdo a Obrist un *desacople* de la TC y la actividad somática es posible bajo condiciones de "enfrentamiento activo", correlacionadas con la actividad simpática, la cual incrementa la TC sin aumentar la tensión muscular. Encajan más el "enfrentamiento pasivo" y la actividad parasimpática con disminución de la TC en situaciones de movimiento inhibido ("desesperanza").

4. *La TC en la Terapia del Comportamiento*

En la terapia del comportamiento la tasa cardíaca (TC) se utiliza ampliamente como un indicador del alerta psicológico y

somático y para la evaluación del éxito de la terapia particularmente en pacientes con desórdenes obsesivo-compulsivos y fóbicos (Lang, 1971; Rachman, 1978; Birbaumer, 1974). Se utilizan básicamente tres situaciones experimentales para medir la TC antes, durante y después de la terapia: a) Un paradigma de dos estímulos en el cual un estímulo neutro de serial (EC) (pe. un reloj o un contador) indica al sujeto que el estímulo amenazador (EI) seguirá después de un intervalo de tiempo específico. Dependiendo de la intención del estudio el sujeto debe emitir una respuesta, o no hacerlo, después del estímulo aversivo. En general el incremento de la TC durante el intervalo EC-EI se interpreta como signo de miedo y de alerta. Esta interpretación, sin embargo, no está inequívocamente justificada a la luz de la teoría psicofisiológica presentada antes. b) Un paradigma de habituación con la presentación sucesiva de 10 a 30 estímulos idénticos con intervalos al azar inter-estímulo. La repetición de estímulos aversivos conduce a una habituación bastante rápida del cambio de la TC después de la primera o segunda repetición del tono (siendo la desaceleración de la TC la respuesta usual 1 ó 2 segundos después de la presentación del estímulo). Véase la Figura 1.

El manejo de la ansiedad: ¿Habitación o inhibición?

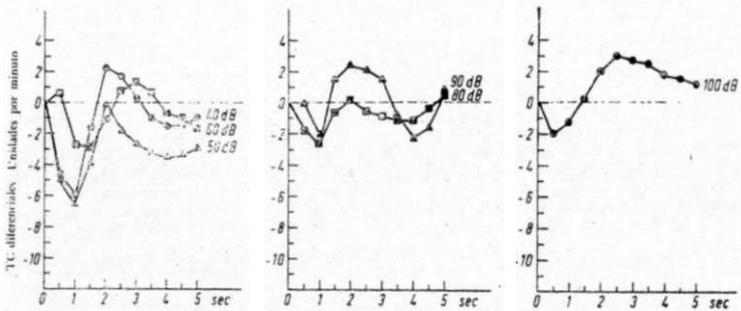


Figura 1. Habitación de la tasa cardiaca a 30 tonos de 7 intensidades. Los tonos fueron de 300 milisegundos y 1000 Hz seno, con un rango de 15 a 20 segundos. Los estímulos se presentaron siempre en la misma parte del ciclo respiratorio. La tasa cardiaca (TC) de respuesta se promedió en los 30 tonos 5 segundos después de la estimulación, y se midió el cambio de la TC a partir de dos segundos de la línea de base pre-estímulo. Con intensidades crecientes, de izquierda a derecha se encontró primero una desaceleración durante el primer segundo, y un aumento de la aceleración postestímulo. El tono de 100 decibeles produjo una respuesta defensiva sin habituación de la aceleración de la TC (de Schandry, Lutzenberger y Birbaumer, 1977).

El incremento persistente de la TC después de la repetición frecuente de los estímulos se interpreta como una *respuesta defensiva* indicando que ha surgido miedo a nivel fisiológico. c) Lang (1979) está utilizando material verbal de escenas productoras de temor con estímulos o respuestas de contenido verbal. La presentación de material orientado hacia la *respuesta* produce un gran incremento de la TC, en contraste con el material orientado hacia el *estímulo*; esto indica que las respuestas de la TC en la terapia dependen del contenido semántico y emocional de la imagen y de la estrategia de enfrentamiento imaginada o practicada por el sujeto. La TC se incrementa de forma tónica en la mayoría pero no en todos los pacientes ansiosos, depresivos y esquizofrénicos, en comparación con los normales y los psicópatas (véase Grings y Dawson-1978).

5. *Retroalimentación de la TC*

Se ha reunido una gran cantidad de literatura experimental en los últimos 15 años acerca del condicionamiento instrumental y la retroalimentación de la TC en animales y hombres (para una revisión véase a Birbaumer y Kimmel, 1979; Williamson y Blanchard, 1979).

Hoy en día se entiende claramente la magnitud de los cambios alcanzados, los efectos de la duración del entrenamiento, el tipo de retroalimentación, las diferencias individuales y la forma específica de la respuesta.

Williamson y Blanchard revisando los trabajos experimentales sobre la biorretroalimentación de la TC puntualizaron que la retroalimentación continua del incremento de la TC induce cambios en la TC de 10 lpm o más, mientras la retroalimentación continua del decremento de la TC excede raras veces 4 lpm después de unas pocas sesiones de entrenamiento.

Los estudios de laboratorio de P. J. Lang en Madison (1970-1975) y de Levenson (1979), sustentaron claramente que la retroalimentación de la TC en una sesión experimental es más inquietante que útil para el auto-control de esta función particular. Los cambios de la TC normalmente se alcanzan evocando una respuesta comportamental integrada que involucra la activación simultánea de una pauta cardíaca-respiratoria-somática. La retroalimentación continua incrementa la carga mental de la situación distrayendo al sujeto y no dejándole que inicie una pauta "natural" de respuesta (P. J. Lang comunicación personal). Sin embargo no existe ninguna teoría satisfactoria que tome en cuenta la mayoría o todos los cambios observados con la biorretroalimentación de la TC.

Muchos de los resultados tienden a sustentar la noción de Lang (1974) de una analogía entre la adquisición de control de la TC y el aprendizaje de habilidades motoras; en este problema muchas preguntas permanecen sin ser contestadas. La literatura sobre la utilidad clínica de la biorretroalimentación de la TC no está muy desarrollada en comparación con el trabajo experimental. B. Engel y su grupo trabajaron mucho esta área encontrando que la *arritmia* cardíaca (disrritmia) puede ser influenciada favorablemente por el entrenamiento en biorretroalimentación a largo plazo. Se estudiaron *la taquicardia del seno, la taquicardia arterial paroxismal* y *la fibrilación arterial, la taquicardia arritmica ventricular* y los *defectos de conducción*. La mayor parte de la información resultó de estudios de casos individuales bien controlados (diseño intra-sujeto) los cuales sin embargo, no permiten extraer conclusiones definitivas acerca de su utilidad terapéutica en desórdenes cardiovasculares como los mencionados anteriormente.

Lang y cols. (1975) en un estudio bien controlado demostraron que el auto-control de la TC con biorretroalimentación no es posible en pacientes con enfermedades cardíacas y es difícil en sujetos ancianos. Solamente el grupo de estudiantes mostró los efectos esperados.

D. Shapiro y sus colaboradores demostraron experimentalmente que la desaceieración de la TC por medio de biorretroalimentación influye en la percepción del dolor (Reeves, Shapiro y Cobb, 1979), el dolor causado por la presión de frío se reduce después de la desaceieración de la TC, combinada con instrucciones de enfrentamiento cognoscitivo el efecto se mejoró todavía más.

Un estudio en nuestro laboratorio con sujetos normales demostró que 4 sesiones de disminución de la TC junto con el entrenamiento en EMG frontal no tiene efecto sobre la respuesta de temor evocada mediante una película stressante, después del entrenamiento (Lutzenberger y cols., 1976) véase la Figura 2.

No existen trabajos que comparen la reducción del dolor mediante la biorretroalimentación con otros tratamientos psicológicos para el control del dolor. Hay muchos otros métodos psicológicos para el control del dolor tales como la sugestión, los procedimientos de auto-control, la relajación, la distracción, la confrontación, el uso de modelos, etc. Señalemos aquí una vez más que la retroalimentación continua de una variable fisiológica parece ser el método más inadecuado para controlar una respuesta psicológica altamente estructurada como es el dolor. Pero también la retroalimentación continua de más de una variable fisiológica parece no tener más éxito que otras técnicas para reducir la ansiedad, en una muestra de sujetos con fobia social el grupo que recibió la retroalimentación

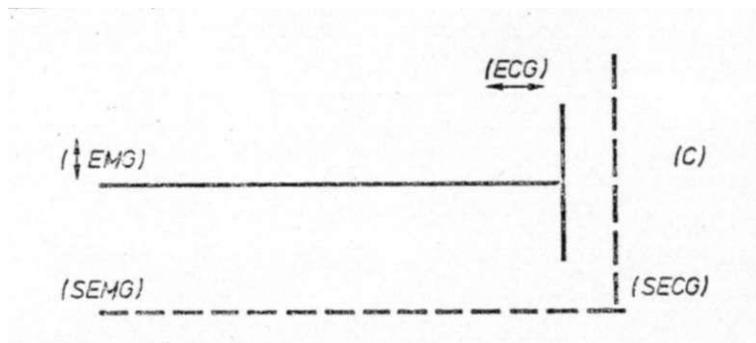


Figura 2. Diagrama de la tasa cardíaca y de la presentación de la retroalimentación del EMG en el osciloscopio. La línea sólida se mueve de arriba a abajo (EMG) y de derecha a izquierda (tasa cardíaca). Las líneas interrumpidas son los objetivos para el EMG (línea horizontal SEMG) y la tasa cardíaca (línea vertical SECG). El contador (C) se coloca al rincón derecho de la pantalla. La retroalimentación de la tasa cardíaca era similar a la descrita por Lang (1974). El sujeto sentado delante de la pantalla grande de un osciloscopio. Cada ciclo cardíaco iniciaba una línea que comenzaba a la izquierda, y que se extendía por la pantalla. La longitud de la línea era exactamente proporcional a la longitud de cada intervalo sucesivo RR. También había una línea objetivo vertical para la tasa cardíaca. En la tarea de disminución, la línea horizontal tenía que extenderse después del objetivo vertical. La línea de objetivo se colocó inicialmente en el intervalo mediano R-R del sujeto. Si el sujeto lograba extender la "línea de la tasa cardíaca" más de 10 latidos del corazón se colocaba una nueva línea objetivo, que era el punto medio entre la mediana anterior del sujeto y su mediana actual (lo cual en el procedimiento de Lang se denomina "regla de las mitades"). Al mismo tiempo, la línea horizontal se movía hacia arriba y hacia abajo en la pantalla en proporción a la amplitud EMG integrada frontal del sujeto. Hubo una línea horizontal al objetivo, para la amplitud del EMG, que se colocó en la amplitud mediana del sujeto. A este se le pidió que redujera su tensión muscular tanto como pudiera y que mantuviera la línea horizontal de objetivo. La línea horizontal objetivo se colocó en el punto medio entre la amplitud media previa del sujeto y su mediana actual, si lograba mantener la "línea de tasa cardíaca" por debajo de la línea objetivo horizontal durante más de 10 latidos del corazón. Las dos líneas objetivo se presentaron como líneas interrumpidas para que fuera fácil discriminarlas de la línea en movimiento. Un contador digital en la esquina derecha podía ser visto por el sujeto. Si este podía extender la línea horizontal a través de la línea objetivo vertical de la tasa cardíaca, se contaba un punto; si además la línea horizontal bajaba en relación con la línea de objetivo horizontal para la amplitud del EMG, se contaban dos puntos. Los puntos se contabilizan en forma acumulativa durante el periodo de entrenamiento. Los sujetos en el grupo de retroalimentación no contingente veían el mismo tablero que veía el grupo de retroalimentación contingente, excepto que la línea horizontal y las dos líneas de objetivo no estaban controladas por la tasa cardíaca real ni por el EMG del sujeto.

BIRBAUMER

variables tambien se pueden incluir. La amplitud de la curva debe representar la cantidad de aierta general de las variables registradas. Las diversas constantes de tiempo se consideran si es posible por el cálculo de las varias funciones digitales de filtro. La variabilidad de la linea promedio de retroalimentacion puede ser influida por el experimentador por las acciones de diferentes constantes de tiempo. El problema de la variación optima de tiempo del proceso promedio, en relación con las variables aisladas, es algo que queda por resolverse. En el presente estudio decidimos acerca de los algoritmos de filtro con base en nuestras propias experiencias y en varios elementos proporcionados por la investigacion y por la literatura. La situación a la larga tiene que modificarse aún más.

La inflación automática de la raanilla permite mediciones de la PS tan frecuentes como una por minuto durante una cantidad limitada "de tiempo. Este metodo es inexacto, estima alrededor de 10 mmHg por debajo del valor real de la PS, y es poco digno de confianza debido a las variaciones rapidas y amplias de ia PS (tanto como 20-30 mmHg en un intervalo de medio minuto).

La inediación semicontinua de la PS para fines de los procedimientos de biorretroalimentación fue desarrollada por Tursky, Shapiro y Schwanz en 1972 y se denominó la tecnica de la "manilla constante". La manilla se infla alrededor dei promedio de la presión sistólica y se mantiene constante en un nivel; siempre que la presión sistólica crezca y exceda la presión de oclusión de la manilla se detecta un sonido de Korotkoff; si la presión sistólica es menor que la presión de oclusión, no se percibe ningún sonido, utilizando un aparato especial la presión constante a la cual el 50% de los latidos del corazón producen K-sonidos es la presión sistólica media. El sonido puede ahora detectarse para cada latido del corazón; la presencia indica presión sistólica mayor que la media, y la ausencia indica lo contrario. Después de 50 latidos del corazón la manilla es deflectada durante 30 segundos para permitir la recirculación. La presión constante puede incrementarse o disminuirse dependiendo de la presión media de los sujetos.

La información de la PS sistólica se presenta en este sistema a cada latido del corazón y proporciona una estimación muy aproximada de la PS "real" en la arteria. La misma idea puede aplicarse a la PS diastólica (Shapiro, Mainardi y Surwit, 1977).

Durante los Últimos anos la velocidad de onda del pulso o el tiempo transiente del pulso se utiliza mucho para medir un correlato de la PS. Mediante un pequeno aparato de computador el intervalo entre el ECG y el pulso radial se computa para cada pulso. Dentro de cierto rango fisiológico que aún no se entiende muy bien, los cambios en el tiempo transiente del pulso indican fluctuaciones de presión arterial. Los cambios en el volumen de

los vasos son consecuencia de una alteración de presión. El tiempo transiente del pulso inversamente se relaciona con la presión arterial principal; entre más allá sea la PS más rápido es el tiempo transiente del pulso. Solamente unos pocos estudios confirman las suposiciones básicas y la esperanza depositada en el método; son trabajos llevados a cabo principalmente por un grupo en Oxford, Inglaterra (Gribbin, Steptoe y Sleight, 1976). Se necesitan investigaciones adicionales en diferentes laboratorios antes de establecer conclusiones definitivas acerca de este método prometedor.

2. *Fundamentos Fisiológicos*

La regulación de la PS es uno de los sistemas homeostáticos fisiológicos más complicados del cuerpo (para una revisión comprensiva vease a Genest, Koiv y Kuchel, 1977, y Weiner, 1977). **La capacidad cardiaca y la resistencia periférica total** las modifica el sistema nervioso autónomo (SNA ramas simpática y parasimpática); las glándulas suprarrenales y el riñón modifican la PS por vía hormonal, neuronal y somato-muscular y respiratoria. La presión arterial promedio de todas estas funciones complejas e interrelacionadas, influye en el sistema nervioso central por la vía de los barorreceptores. Se discute todavía en medicina interna si la causa última de la hipertensión es periférica en perturbaciones renales o si se debe a trastornos en la regulación del CNS. Probablemente muchas enfermedades heterogéneas de diferente causa fisiológica y psicológica se rotulan con la expresión uniforme y por eso errónea de "hipertensión notable".

3. *Significado Psicofisiológico*

La hipótesis de Lacey de una relación causal entre los cambios físicos de la PS, la actividad barorreceptora y el alerta del CNS, con los conceptos psicológicos de "admisión ambiental" y "exclusión" fue descrito anteriormente, encontrándose sin ninguna sustentación inequívoca.

B. Dworkin (1979) presentó una hipótesis interesante en línea con las ideas de Lacey; el incremento de la PS física durante la estimulación aversiva puede tener una influencia auto-reforzante de "relajación" por la vía de los barorreceptores sobre el cerebro, mediante la reducción del dolor y del desagrado. Los experimentos con ratas que evitan la estimulación aversiva mientras están auto regulando la PS parece confirmar esta suposición. El bloqueo farmacológico de la actividad barorreceptora modifica esta relación conforme a las direcciones esperadas.

Elevaciones duraderas de la PS se han podido alcanzar mediante la agresión comportamental no reforzada o represada (frustra

ción). Hokanson y sus colaboradores (para una revisión vease a Lang, 1971) demostraron que la agresión inhibida o castigada incrementa tanto la presión diastólica como la sistólica; las actitudes hostiles duraderas podrian conducir a una hipertensión esencial estable. Si esto es específico para la emoción agresiva o si es debido a un aierta del sistema simpático inespecifico, debe todavia especificarse.

La ansiedad crónica y la esquizofrenia responsiva parecen elevar en forma crónica la PS.

4. *La PS en la Terapia del Comportamiento*

En contraste con la tasa cardiaca, la presión sanguínea no se incluye generalmente en la terapia del comportamiento. Su dependencia de muchos procesos hormonales y nerviosos, los cuales se deben principalmente a la homeostasis interna y que no estan correlacionados necesariamente con procesos emocionales, reducen la utilidad de la PS para la evaluación terapeutica. La única excepción parece ser la terapia del comportamiento de la hipertensión notable. Asi mismo, la medición frecuente bajo condiciones estrictamente controladas se hace necesaria para superar la falta de confiabilidad inherente de la medición discontinua no invasiva.

Con excepción de los metodos de relajación y biorretroalimentación, las terapias del comportamiento no se aplicaron sistemáticamente a los pacientes hipertensos. Tres estudios de caso individual, controlados, de hipertensos, uno labil y dos hostiles, demostraron que el entrenamiento en habilidades sociales, la terapia cognoscitiva y la biorretroalimentación produjeron estadisticamente cantidades diferentes de buen exito dependiendo de la estructura psicológica del paciente, la cual fue evaluada despues del análisis del comportamiento. Esto senala una indicación diferencial de las psicoterapias para estructuras psicológicas heterogeneas de la misma enfermedad (i, e, hipertensión). O, dicho de otra forma: ¿para que paciente y con que enfermedad, es adecuada cuál forma de terapia? Presentaremos en este trabajo solamente lo referente a los tres hipertensos, no lo del grupo total.

El caso 1 tuvo durante tres años hipertensión labil y respondió muy bien a la medicación, pero seguía presentando PS alta despues de situaciones tensionantes en el oficio y en la casa. El caso 2, tuvo durante más de 15 años hipertensión estable y no respondió bien a la medicación. El caso 3 tuvo alrededor de 10 años hipertensión, por lo cual el medico lo diagnosticó "entre labil y estable" con signos primarios de implicación renal.

Cada paciente recibió dos terapias en orden contrabalanceado despues de un periodo básico de 50 dias con registro diario de la PS. Comparamos el entrenamiento en habilidades sociales con la

terapia cognoscitiva y con la biorretroalimentación de la PS. Cada terapia duró 12 sesiones. El seguimiento se llevó a cabo a los 6 meses y después de uno y medio. El registro diario se analizó con modelos ARIMA (una forma especial de análisis de series de tiempo). La información estadística indicó claramente que cada paciente respondió mejor con la reducción de la medicación a esta forma particular de terapia, que se consideró como la más apropiada después del análisis del comportamiento mediante un procedimiento de diagnóstico muy elaborado, el cual no se describe por limitaciones de espacio). El paciente 2, con hipertensión estable, mostró muy poco cambio: no fue posible modificar sus actitudes obsesivas y altamente rígidas contra su esposa y sus alumnos (el paciente es maestro). El paciente 1 respondía muy bien después de la intervención en su situación de pareja con entrenamiento en habilidades. El paciente 2 respondió bien a la primera terapia con reducción de la PS, pero solamente a la 2ª terapia con reducción de la medicación sin cambio adicional en la PS. Los métodos de relajación (de Benson, Jacobson, Schulte, Lutze y meditación trascendental), resultaron después de prolongados entrenamientos diarios, en cambios estadísticamente significativos para la hipertensión **labil**.

5. *Retroalimentación de la PS*

Shapiro y cols. (1977), Weller (1979) y Williamson y Blanchard (1979) escribieron revisiones comprensivas de la literatura experimental y clínica reciente sobre la biorretroalimentación de la presión sanguínea (PS).

Una revisión de los estudios clínicos controlados muestra que los resultados son en general poco concluyentes: algunos estudios reportan efectos duraderos después de entrenamiento prolongado en la oficina y en la casa (Patel, 1977, Kristt y Engel, 1975). Otros no encontraron diferencias significativas entre el entrenamiento con retroalimentación y la relajación (Hager y Surwit, 1978) o entre retroalimentación, relajación y placebo (Frankel y cols., 1978).

Todos los estudios demuestran claramente una reducción de la PS de más de 5-10 mmHg después de unas pocas sesiones en el laboratorio. La transferencia de los resultados alcanzados a la realidad social y el seguimiento de largo término no se encuentran en la mayoría de los estudios con PS.

En contraste con la biorretroalimentación de la tasa cardíaca (TC), la biorretroalimentación de la presión arterial parece ser más específica, no involucrándose con muchos otros sistemas como respiración TC. Sin embargo, una manera fácil de lograr la disminución de la PS en la hipertensión labil es la respuesta de relajación. La cantidad y la estabilidad de la reducción de la PS con los métodos

BIRBAUMER

de relajación es comparable e incluso más importante que los efectos obtenidos mediante la retroalimentación (Weller, 1979). Hager y Surwit (1978) no encontraron diferencias entre la meditación (tipo Benson) y la PS en casa y en el laboratorio en un grupo de hipertensos labiles. Patel (1977) publicó sus estudios muy conocidos utilizando biorretroalimentación de GRS y de EMG en combinación con meditación durante varias semanas de entrenamiento diario en el laboratorio y en la casa. El grupo de control recibió atención comparable por el terapeuta pero no entrenamiento sistemático. Después de la evaluación post-tratamiento a los controles también se les dieron los ingredientes terapéuticos. Los resultados demostraron efectos duraderos (más de año y medio). Si los sujetos continuaron la práctica en casa, los estudios de Patel son difíciles de evaluar, debido a que su autora hizo sola todo el trabajo. Antes de la terapia verdadera ella entrenó los sujetos por medio de un programa para aumentarles la motivación. Ni el efecto del experimentador ni el programa de motivación se controlaron apropiadamente lo cual explica las dificultades de otros laboratorios para replicar sus resultados (Frankel y cols., 1978). Se discute todavía si manipulaciones de efectos placebos como sentarse tranquilamente y cerrar los ojos dos veces por día podrían tener los mismos efectos. Se necesita con urgencia una diferencia más exacta de los subgrupos de hipertensivos sobre la base de varias medidas fisiológicas y psicológicas conforme a criterios objetivos. Un problema central en el tratamiento de la hipertensión es la baja motivación para la psicoterapia debido a la falta de síntomas durante las fases iniciales de la hipertensión y debido a la eficacia de la terapia por medio de drogas. Hay programas amplios de orientación comportamental para el diagnóstico temprano y la motivación de los hipertensivos en varias partes diferentes del mundo (Estados Unidos y Alemania Federal).

La biorretroalimentación no parece ser un método prometedor para la prevención y la intervención en los casos de hipertensión esencial. Otras técnicas comportamentales son más económicas y más fáciles de llevar a cabo: relajación, cambios en el estilo de vida y actitudes, métodos operantes en el contexto familiar y del trabajo, etc.

C. POTENCIALES CORTICALES LENTOS (PCL)

1. *Registros y Medición*

Desde que Grey Walters (1964) descubrió los cambios de la d.c. cortical lenta en el EEG humano, estos han sido un foco de interés científico. Sin embargo todavía no existe una teoría satisfactoria de su significado fisiológico ni de los correlatos psicológicos de la PCL. Nuestra investigación de laboratorio sobre el significado psicológico de los PCL y de los efectos de la biorretroalimentación de

los PCL sobre el comportamiento, como también su significación en la terapia del comportamiento, se hizo durante los últimos años (para una revisión véase a Birbaumer, 1975, Rockstroh, Elbert, Lutzenberger y Birbaumer; Rockstroh y cols., 1980j; nuestros resultados sugieren que las deflexiones de d.c. negativa lenta de los EEG con una amplitud de 5 a 30 MV y con una duración de alrededor de 6 a 10 segundos, refleja la despolarización local ("aierta") de un área cortical específica (neuronas y células de glia de los niveles corticales superiores). Los PCL no son simples correlatos de la actividad comportamental o neural sino que *influyen* la excitabilidad de las asambleas de células corticales que por esto influyen en el comportamiento. La positividad cortical es más difícil de interpretar; no puede interpretarse como un simple correlato de procesos de inhibición de regiones corticales. El registro de potenciales de d.c. con más de 6 segundos de duración requiere de amplificadores de EEG con una constante de tiempo de no menos de 30 segundos. Se necesita un tratamiento especial de electrodos y piel para reducir errores de medición. Los movimientos verticales de los ojos y los potenciales de la piel, que enmascaran los PCL tienen que eliminarse por cálculos sobre la línea y afuera de línea. El promedio de tiempo de al menos 10 ensayos idénticos sucesivos se necesita para reducir la proporción de señal a ruido de los PCL y de los EEG corticales.

2. *Bases Fisiológicas y Significación Psicofisiológica.*

Los PCL negativos se interpretan como preparación excitadora y despolarización de asambleas celulares corticales. Su amplitud varía (dependiendo de la situación experimental) con la expectativa, la conciencia, la motivación, la atención, la preparación, para la respuesta y el modo de procesar la información. La negatividad psicoperativa se encontró en nuestro laboratorio después de cambiar experimentalmente las contingencias dentro de paradigmas de escape y se interpretó como signo de desconfianza "cognoscitiva" y procesamiento de la experiencia de incontrolabilidad (véase Rockstroh y cols. 1979). Si un sujeto espera un estímulo significativo y lo prepara una respuesta de enfrentamiento, la cantidad de negatividad se encontró que era un correlato de la evaluación y del procedimiento de la contingencia esperada respuesta-resultado.

A nivel fisiológico los PCL se registraron en el tálamo humano indicando una activación muy localizada de las neuronas corticales superiores del sistema reticular "inespecífico" ascendente y talámico. Se demostró que los PCL no son necesariamente un concomitante de la preparación motora, sino que también reflejan el proceso "interior". (Para una revisión comprensiva véase a Kornhuber y Deecke, 1979).

3. Los PCL en la Terapia del Comportamiento y la Psicopatología

En un estudio de Birbaumer y Tunner (1971) se encontró que los sujetos con alta ansiedad para los exámenes desarrollaban negatividad cortical en una situación experimental en la cual esperaban imaginär una situación típica de examen. El grupo experimental, que se trató con éxito por medio de la desensibilización sistemática, presentó significativamente más negatividad cortical reducida durante el curso de la terapia que un grupo de control no tratado (vease la Figura 4). El alivio subjetivo de la ansiedad se correlacionó con la reducción de los PCL y con el aumento en el ritmo alfa.

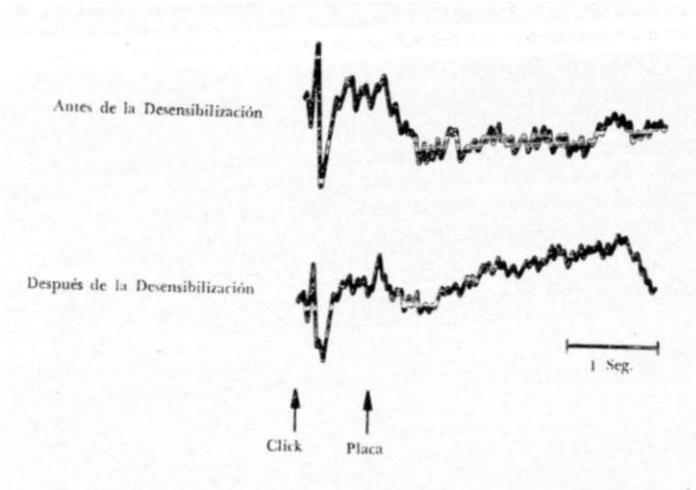


Figura 4. Potenciales esperados de una persona antes y después de la 3ª sesión de desensibilización.

Este resultado se debe interpretar con base en la comparación entre sujetos hecha en la investigación. La ansiedad generalmente va acompañada de una reducción en la amplitud de los PCL, si el estímulo que produce la ansiedad o el "pensamiento" de ansiedad posee la propiedad de distraer a la persona. Los sujetos crónicamente ansiosos o los esquizofrénicos muy "responsivos" presentaron reducción en los PCL, si esperaban un estímulo aversivo o significativo, o si se les pidió que dieran una respuesta rápida después de presentárseles un estímulo señal. Sin embargo, presentaron esto solamente

durante el intervalo de expectativa. *Después* de la respuesta o del estímulo esperado, los sujetos con síntomas psicopatológicos severos desarrollaron una variación negativa post-imperativa (VNPI) lenta, que se interpreta con base en nuestros resultados, como un procesamiento de información cortical prolongada, de una respuesta irrelevante y ya terminada. En sujetos sanos se encontró la VNPI bajo condiciones de incontrolabilidad inesperada (Rockstroh y cols., 1979). Este experimento investigó la influencia de un cambio inesperado en un paradigma de escape, con la incontrolabilidad de los potenciales corticales lentos (PCLs) y las respuestas autónomas (tasa cardíaca, conductibilidad de la piel y EMG). Dos grupos cada uno compuesto por 10 estudiantes varones participaron en un experimento de tiempos de reacción; los sujetos escucharon uno de dos estímulos de alerta (EA) de 6 segundos de duración, que indicaban uno de dos estímulos perentorios (EP), uno de los cuales era un ruido aversivo y el otro un tono neutro. Los sujetos en el grupo experimental podían escapar del estímulo perentorio (EP) presionando un microopturador durante el lapso de 300 mseg después de la iniciación del EP. Esta posibilidad de escapar se suspendió después de un periodo experimental de 40 ensayos, durante un periodo de otros 40 ensayos, durante el cual los EP duraron 5 segundos no importaba que respuesta motora diera el sujeto. Los sujetos del grupo de control pareado recibieron estímulos de alerta (EA) y estímulos perentorios (EP) en la misma secuencia y duración como el sujeto experimental que se apareaba con cada uno de ellos, pero sin que tuvieran experiencia alguna de control de los EP.

Durante el intervalo EA todos los sujetos mostraron un cambio negativo de dos componentes en relación con los PCL. En respuesta a los EP aversivos incontrolables durante el segundo periodo experimental, los sujetos experimentales presentaron una marcada variación negativa postimperativa (VNPI). No se encontró ninguna VNPI en respuesta a los estímulos perentorios (EP) neutros, ni tampoco en los sujetos de control pareados con los sujetos experimentales. Además la VNPI fue más pronunciada en los sujetos con gran diferenciación en el componente tardío del cambio negativo entre los EA aversivo y neutro durante los primeros 40 ensayos. La VNPI no se encontró que estuviera relacionada con las respuestas fisiológicas periféricas sino que más bien representa procesamiento cortical.

Un experimento llevado a cabo en nuestro laboratorio, con sujetos que tenían puntajes altos o bajos, respectivamente, en la escala de anhedonia en un cuestionario (escala que probablemente media un alto riesgo a desarrollar problemas psicopatológicos), indicó que los sujetos con puntajes altos desarrollaron VNPI más pronunciadas, en comparación con los sujetos de bajo puntaje en dicha escala.

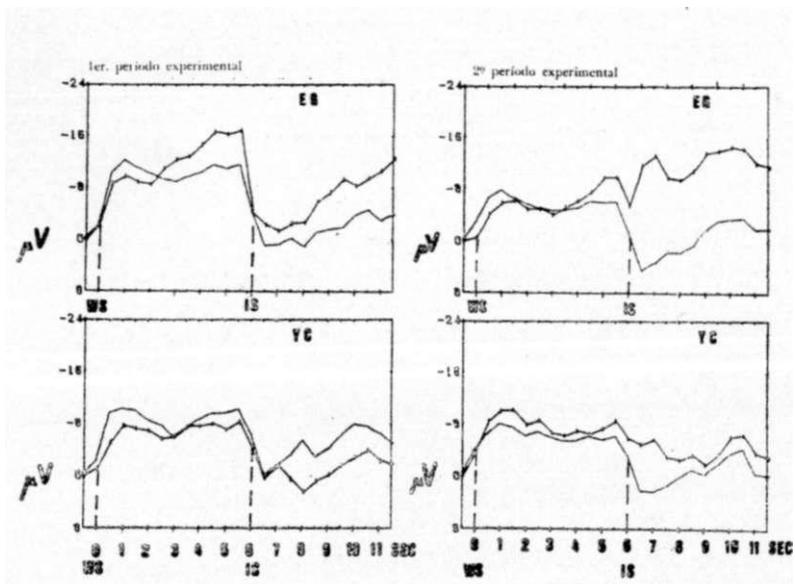


Figura 5. Puncias'es corticales lentos, en microvoltios (la negatividad hacia arriba), del grupo experimental (EG) y del grupo de control pareado (YG), durante el estimulo de alerta (WS) de 6 segundos d' duraci3n y del estimulo imperativo (IS) de 5 segundos de duraci3n, en respuesta a la tasa neutra de estimulo de alerta/estimulo imperativo (linea continua) y a la tasa aversiva estimulo de alerta / estimulo imperativo (linea no continua). El primer periodo experimental de 40 ensayos se presenta a la izquierda, el segundo periodo experimental de 40 ensayos se presenta a la derecha (despues de introducir la incontrolabilidad). El grupo experimental (EG) demuestra una negatividad post-imperativa (VNPI) solo despues de la incontrolabilidad del estimulo imperativo aversivo. El grupo de control (YG) recibio la misma consecuencia de estimulos pero nunca tuvo control de la situaci3n y por lo tanto no present3 VNPI (de Rockstroch y cols., 1979).

Los potenciales corticales largos (PCLs) se investigaron en sujetos con alto o bajo riesgo de esquizofrenia, segun el cuestionario de Chapman y cols. (1976). De una poblaci3n de 2.000 estudiantes se seleccionaron cuatro grupos de 10 estudiantes varones, con puntajes

altos o bajos en dos escalas (AF = anhedonia física, DC = distorsión corporal), o puntajes altos en una de las escalas y bajos en la otra. Los sujetos participaron en un experimento de tiempo de reacción *i-nic* dos estímulos, que se encontró que servía para evaluar los potenciales corticales lentos (PCLs) anormales en los trastornos psicopatológicos (Dongier y cols., 1977). Durante 20 ensayos un sonido (click) presentado durante 50 mseg. iba seguido de una luz (durante 100 mseg.); después de dos segundos, los sujetos tenían que presionar un botón tan rápidamente como pudieran, en respuesta a la luz. Se registraron los PCL en forma unipolar precentral y frontalmente, en ambos hemisferios, referidos a los lóbulos de las orejas. Los sujetos con altos puntajes de anhedonia física (AF) mostraron cambios precentrales del hemisferio izquierdo comparables a los que se encontraron en esquizofrénicos: tendencias a CNV menores ($r = .21$, $p < 0.1$) y negatividad prolongada (VNPI, variación negativa post-imperativa), después del estímulo 2 ($r = .40$, $p < 0.01$). No se encontraron VNPI comparables en los registros frontales. Una correlación múltiple, con amplitudes de la VNPI y del hemisferio izquierdo como variables dependientes y con puntajes de AF como variables independientes, demostraron un gradiente fronto-central con más VNPI precentrales y menos frontales en sujetos con altos puntajes de AF ($r = .41$, $p < 0.05$). Los sujetos con altos puntajes de distorsión corporal (DC) presentaron solo una reducción débil del CNV ($r = .25$, $p < 0.1$) pero no se encontró una correlación significativa entre las VNPI y los puntajes de DC. La amplitud precentral CNV se correlacionó con los tiempos de reacción ($r = .32$, $p < 0.05$) encontrándose que los sujetos con mayores CNV respondían más rápidamente, pero no se halló ninguna relación entre el puntaje y el tiempo de reacción.

4. *Retroalimentación de los PCL*

Una serie de estudios experimentales llevados a cabo en nuestro laboratorio (Elbert y cols., 1979 a, b) indican que los sujetos humanos son capaces de adquirir control instrumental de los PCL por medio de los procedimientos de biorretroalimentación: aprenden, por ejemplo, a cambiar su nivel cortical en forma más o menos negativa (o ligeramente positiva) dependiendo de dos señales auditivas. Estos experimentos mostraron también que los sujetos mantenían e incluso mejoraban el control instrumental durante los ensayos de prueba sin retroalimentación, lo cual significa que lo hicieron sin información alguna acerca de los cambios reales en la electricidad.

Los sujetos recibieron retroalimentación **Visual** continua acerca de los cambios corticales reales, perceptibles como un punto que se movía en una pantalla de televisión durante intervalos de segundos; los sujetos tenían **que** dirigir la señal hacia **uno de** dos objetivos

que representaban más o menos negatividad cortical dependiendo de la altura de dos tonos. En dos sesiones experimentales idénticas, los ensayos de retroalimentación alternaban con ensayos de prueba sin retroalimentación. Un procedimiento de moldeamiento determinaba el tamaño de los PCL que se necesitaban para lograr el premio o el castigo (ganar o perder puntos que se cambiaban por dinero), en cada ensayo. Para el análisis de los datos se desarrolló un modelo

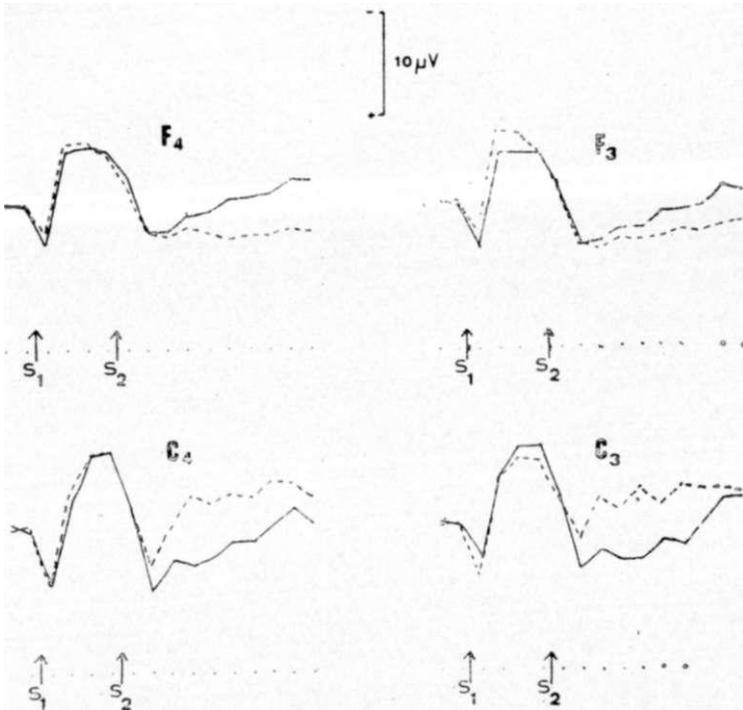


Figura 6. Potenciales corticales lentos promediados, de 21 sujetos con alto puntaje en anhedonia (alto PA, línea interrumpida) y de 22 sujetos con bajo puntaje en anhedonia (bajo PA, línea continua). El S₁ es un click, el S₂ es una luz. Los sujetos tenían que presionar un botón después de ver el S₁ tan rápidamente como pudieran. El tiempo de S₁ a S₂ era de 2 segundos. En la figura el símbolo F, se refiere a los potenciales corticales lentos de la zona frontal derecha; F a la parte frontal izquierda; C, a la central derecha; C, a la central izquierda. Las variaciones negativas post-imperativas (VNPI) frontales después del estímulo S₂, están influidos por VEM. C₄ y C₃ demuestran VNPI significativas en sujetos con alto porcentaje de PA. Se hipotetiza que una VNPI es parte de las características de personalidad de la anhedonia extrema, lo que indica un procesamiento cortical prolongado de contingencias de respuesta, después de haber terminado dicha respuesta.

paramétrico del EEG, que supuso que el EEG estaba compuesto de un modelo de los PCL de dos componentes, una influencia ocular, una dependencia seriada que podía describirse por filtros autoregresivos, y ruido blanco. Los parámetros se corrigieron en cada ensayo.

Se encontraron diferencias altamente significativas de PCL entre las dos polaridades requeridas. Las diferencias más pronunciadas se observaron durante los ensayos de prueba sin retroalimentación de la segunda sesión, en la cual ocurría un cambio positivo por debajo del nivel de línea de base cuando se requería positividad (o menos negatividad). Véase la Figura 7.

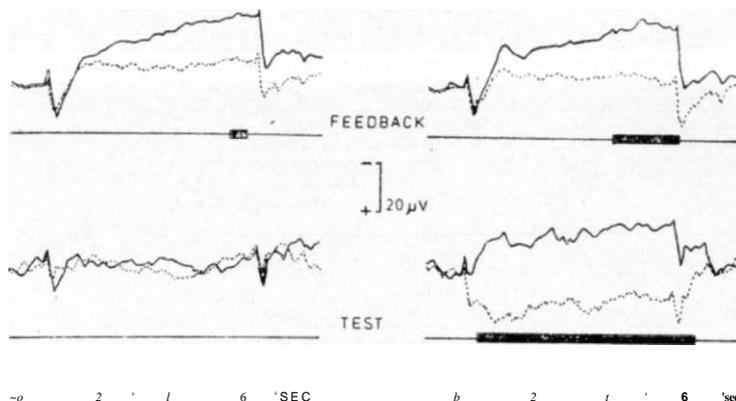


Figura 7. Potenciales corticales lentos promediados por ensayos en la primera sesión experimental (a la izquierda de la figura) y en la segunda (a la derecha), con biorretroalimentación de potenciales corticales lentos. En la parte superior se presentan los ensayos con retroalimentación (feedback), en la parte inferior los ensayos sin retroalimentación (test). Las líneas sólidas representan ensayos con negatividad requerida, las líneas punteadas representan ensayos con positividad requerida. Las barras negras demuestran diferencias significativas de potenciales evocados lentos entre los ensayos con negatividad requerida y los ensayos con positividad requerida, con base en la prueba t ($t > 2.11$, $p < 0.05$). De Elben y cols. (1980).

Se llevó a cabo un experimento para comparar esta capacidad de autoregulación en sujetos normales y en 8 pacientes con lesiones bilaterales del lóbulo frontal en el mismo paradigma experimental (véase la Figura 8).

Las diferencias altamente significativas de PCL entre los ensayos que requieren negatividad y los ensayos que requieren positividad muestran la capacidad de control instrumental de los PCL durante los ensayos de retroalimentación en ambos grupos. Durante los ensayos de prueba sin retroalimentación y sin refuerzo visible, los pa-

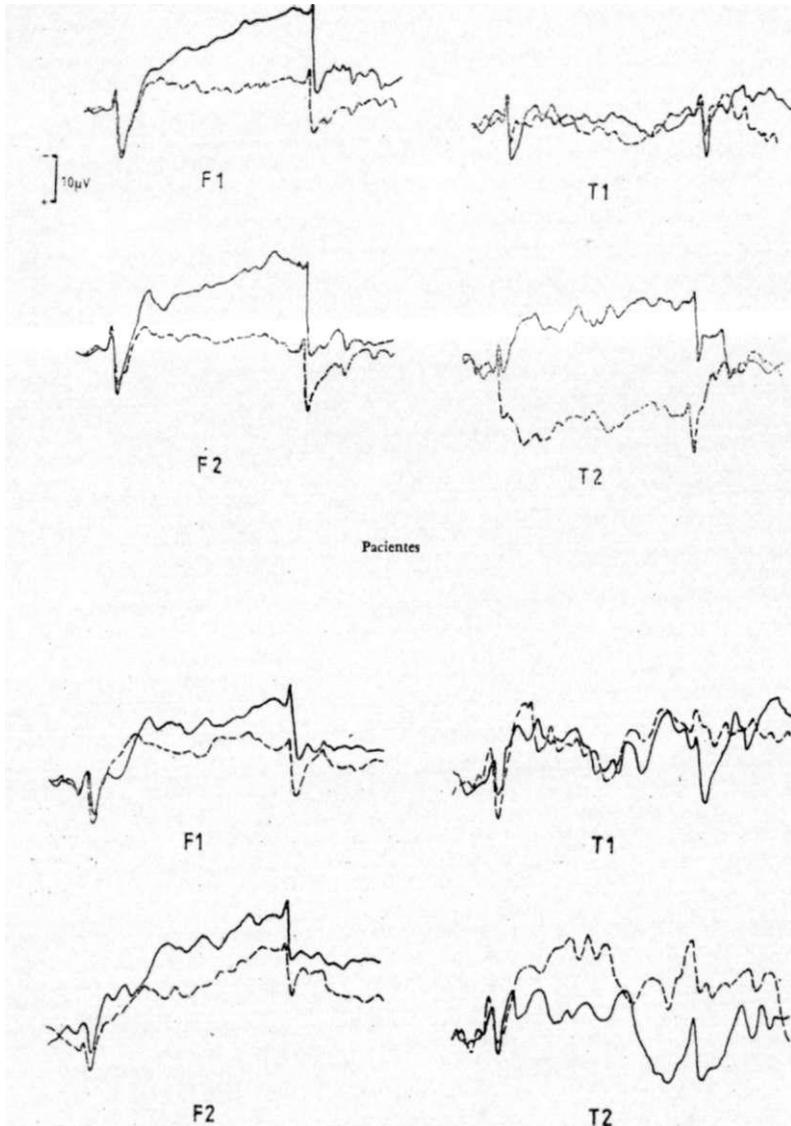


Figura 8. Potenciales evocados lentos, promediados para los 8 pacientes con lesiones traumáticas bilaterales del lóbulo frontal y para 17 sujetos normales. Se presentan los 40 ensayos de retroalimentación (F) y los 20 ensayos de prueba

(T), sin retroalimentación promediada. Se indica la primera sesión (F_1, T_1) y la segunda (F_2, T_2). El tiempo promedio de respuesta fue de 3 segundos pre-estímulo y 3 segundos post-estímulo (la línea interrumpida indica que se requiere positividad, la línea continua que se requiere negatividad). Los sujetos normales lograron presentar positividad cortical y negatividad cortical en la sesión incluso sin retroalimentación. Los pacientes no presentaron diferenciación sin retroalimentación (de Lutzenberger y cols., 1980).

Los sujetos con lesiones frontales no mostraron diferencias sistemáticas entre los ensayos que requerían negatividad y los que requerían positividad, mientras que los sujetos normales mostraron las diferencias más pronunciadas en los PCL. Los efectos fueron más pronunciados en el primer componente: al presentarse la señal de tono, los sujetos normales presentaron un aumento inmediato hacia la negatividad en ensayos que requerían dicha negatividad, o una caída hacia los valores positivos por debajo de la línea de base en ensayos que requerían positividad. Por otra parte, los pacientes mostraron un aumento lento pero continuo durante el intervalo de 6 segundos, o sea un primer componente reducido. Los resultados respaldan la hipótesis de que un aumento negativo inicial lo efectúa la corteza frontal. Las lesiones del lóbulo frontal probablemente alteraron la ejecución en una tarea de refuerzo demorado, lo cual encaja con los resultados que indican que la lobotomía frontal destruye partes de la memoria de corto término y daña la asociación temporal de los eventos.

El autocontrol de los PCL se logra por un mecanismo de disociación córtico-visceral: solamente los sujetos con inhibición completa de las respuestas periféricas durante los ensayos de retroalimentación fueron capaces de lograr diferencias entre los cambios corticales en las direcciones requeridas. Las entrevistas post-experimentales revelaron que los sujetos que lograron hacerlo utilizaron para los cambios en los PCL estrategias "cognoscitivas" tales como concentración, pensamiento de sugestión, imaginación, atención, mientras que los sujetos que utilizaron estrategias "periféricas" como la respiración, la tensión muscular, los movimientos oculares, etc., no lograron el control instrumental de los PCL. Este resultado sugiere que "el cerebro regula al cerebro por la vía del cerebro" y no por la vía somática ni por los sistemas autonómicos (vease a Elbert y cols., 1979).

Otros dos estudios indican que los cambios corticales aprendidos y auto-inducidos incluyen en la velocidad de la respuesta y en la ejecución en una tarea de detección de señales (Rockstroh y cols., 1982; Lutzenberger y cols., 1979). Durante el primer experimento los sujetos recibieron el entrenamiento en biorretroalimentación y autorregulación de los PCL y además tuvieron que escapar de un ruido aversivo presionando rápidamente un botón durante los ensayos de prueba sin retroalimentación; estos se programaron antes del comienzo

zo del entrenamiento de retroalimentación y al comienzo del periodo de aprendizaje. Se encontraron respuestas significativamente más rápidas después del entrenamiento con negatividad auto-inducida (en comparación con el periodo antes del entrenamiento y en comparación con los ensayos de positividad auto-inducida), lo cual sugiere que la negatividad auto-inducida reduce la latencia de respuesta (vease la Figura 9).

ENSAYOS DE TIEMPO DE REACCIÓN (2ª Sesión)

POTENCIALES CORTICALES LENTOS (Centalei)

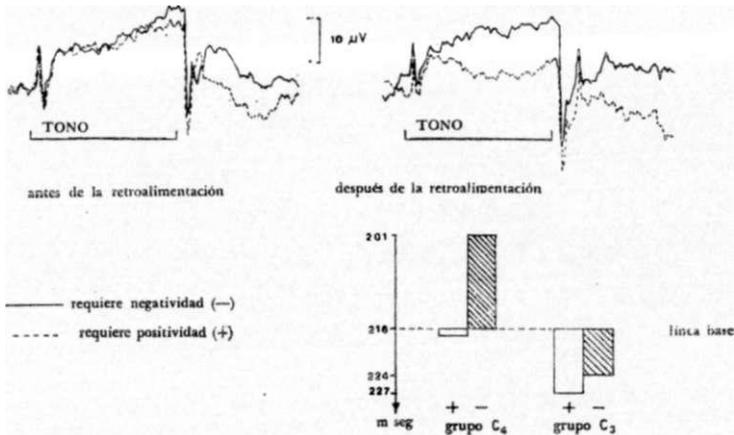


Figura 9. Potenciales corticales lentos (PCL) y velocidad de respuesta antes y después del entrenamiento de retroalimentación de los potenciales corticales lentos, segunda sesión. Las dos curvas en la parte superior son PCL en ensayos de tiempo de reacción con señal, antes y después del entrenamiento. Durante los ensayos de tiempo de reacción con señal, los sujetos recibieron los mismos dos tonos como sucedió durante el entrenamiento de retroalimentación, lo que indicaba a los sujetos si tenían que dirigir la señal de retroalimentación hacia arriba (la señal tenía la forma de un "cohet" en una pantalla) o hacia abajo (positividad cortical vs. negatividad cortical). A los sujetos se les instruyó en los ensayos de tiempo de reacción a que "imaginaran" el vuelo del cohete con el tono alto (positividad) o bajo (negatividad). La meta que se buscaba y la polaridad que se requería, se balancearon en los sujetos. Al apagarse el tono, los sujetos tenían que presionar un botón tan rápidamente como pudieran para escapar de un ruido blanco de 90 decibeles. La parte superior de la figura demuestra claramente que los sujetos cambiaron la polaridad del campo cortical (central) imaginando los dos tonos discriminativos durante los ensayos de tiempo de reacción, después del entrenamiento de retroalimentación. La parte inferior de la figura muestra la velocidad de la respuesta después del entrenamiento en retroalimentación, para los ensayos con el tono que indica positividad corti-

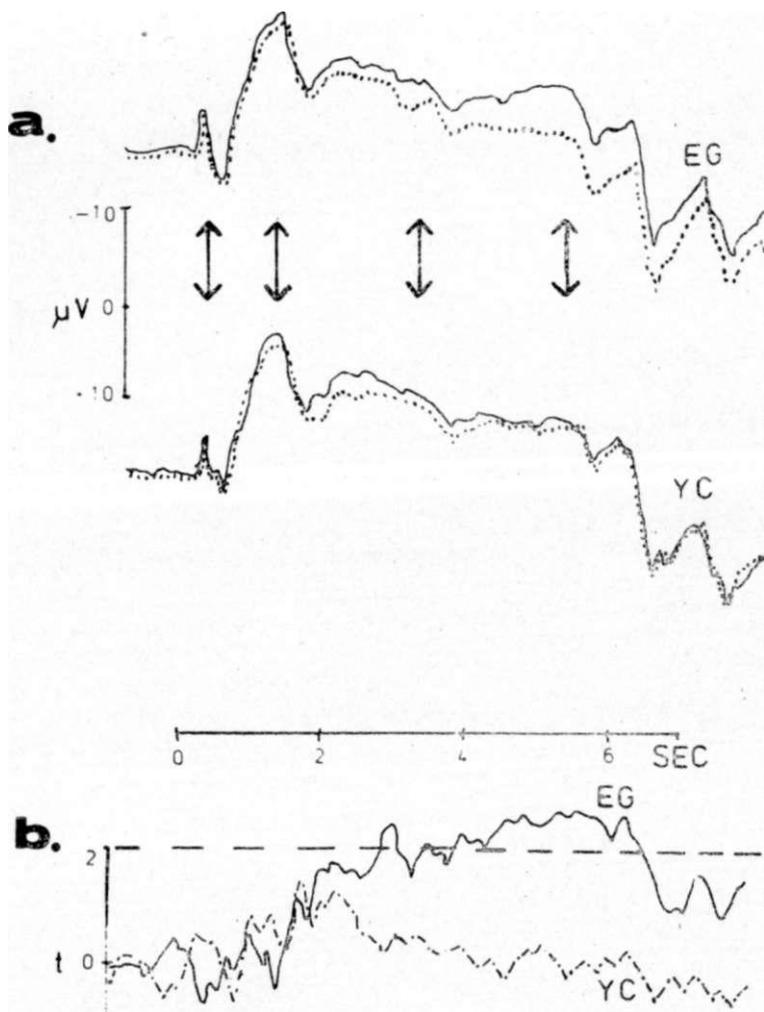
cal (+) *J* negatividad (—), para un grupo de sujetos a los cuales se les dió retroalimentación de PCL derechos centrales (C.) o izquierdos (C.). Solo el grupo C, demostró una disminución significativa de velocidad de respuesta después del entrenamiento con los PCL, entre la negatividad cortical auto-inducida y la positividad cortical auto-inducida (de Rockstroh y cols., 1980).

El segundo estudio investigó la relación entre la ejecución en una tarea de detección de señales y los potenciales corticales lentos. A 22 sujetos se les dio retroalimentación visual continua de sus potenciales corticales lentos (PCL) durante intervalos de 6 segundos. A 11 sujetos de control pareados se les dio "retroalimentación falsa" de los PCL que presentaba un sujeto experimental apareado con él. Como señales para ser detectadas se utilizaron los cambios mínimos de los estímulos de retroalimentación que se presentaron durante 100 milisegundos en ocasiones diferentes, durante el período de retroalimentación. El experimento constó de 240 ensayos.

Los sujetos experimentales aprendieron a cambiar su nivel cortical hacia mayor o menor negatividad o positividad dependiendo de la frecuencia de un tono señal. Sin embargo, las diferencias promedio fueron pequeñas (5 *f.v.*) en comparación con los resultados previos acerca de la autoregulación de los PCL. Todos los sujetos presentaron un P300 si se detectaba correctamente la señal, mientras que no se daba una onda positiva si había "falsa alarma". Los sujetos experimentales presentaban una relación altamente significativa de *U* invertida entre los cambios en los PCL y la ejecución en detección de señales: o sea que tenían más éxito durante los pequeños cambios negativos que durante los grandes cambios negativos o durante los pequeños cambios positivos. No se encontró ninguna relación en los sujetos pareados de control, que tampoco mostraron variación alguna en los PCL (vease la Figura 10).

Más aún, los sujetos de control pareados presentaron una ejecución menor, en comparación con los sujetos experimentales. Se sugiere que un cambio en los potenciales corticales facilita los procesos de atención. La falta de una variación sistemática en los PCL en los sujetos de control puede también ser responsable por la falta de relación entre los PCL y la ejecución en la detección de señales en los sujetos de control pareados.

Para concluir nuestras afirmaciones acerca de los PCL, deseamos describir en detalle dos estudios, debido a que parecen ser una validación cruzada de los resultados que acabamos de describir, y porque proporcionan nuevas e importantes ideas acerca de la modificación del comportamiento con la aplicación de campos eléctricos externos.



-2 -i

Figura 10. (a) Potenciales corticales lentos promediados para todos los ensayos, separadamente para los sujetos experimentales (EG) y del grupo de control pareado (YC). Las líneas sólidas representan ensayos en los cuales se requiere negatividad, las punteadas (o interrumpidas) ensayos en los que se requiere positividad. Las flechas indican la iniciación de los intervalos de 100 msec. durante los cuales tienen que detectarse los cambios en las señales ("cohetes"). (b) Valores de la prueba t para los PCL entre los ensayos que requieren negatividad y los que requieren positividad, para los sujetos experimentales (EG), con líneas sólidas, y de control pareados (YC), con líneas interrumpidas. Se encontraron valores significativos de t ($t \geq 2$) solamente para los sujetos del grupo experimental. (De Lutzenberger y cols., 1979).

Los dos experimentos investigaron la influencia de un campo eléctrico de bajo nivel y baja frecuencia, aplicado externamente, sobre la velocidad de respuesta, en comparación con los efectos de cambios auto-inducidos de los potenciales corticales lentos (PCL).

Problema. Experimentos previos indican que los sujetos humanos aprenden a cambiar su nivel cortical hacia la negatividad o la positividad por medio de un procedimiento de biorretroalimentación, en el cual potenciales reales se vieron en la forma de un estímulo móvil, durante intervalos de 6 segundos (tal como se describió más arriba). Después del entrenamiento con biorretroalimentación, la negatividad auto-inducida produjo una latencia menor de respuesta (en un diseño de tiempo de reacción de período constante), en comparación con ensayos con positividad auto-inducida o con velocidad de respuesta antes del entrenamiento (Rockstroh y cols., 1979; Birbaumer y cols., 1979). Si hipotetizó que los desplazamientos de carga en los niveles corticales superiores, inducidos por campos eléctricos aplicados externamente, pueden actuar en forma similar que los que genera el cerebro. Por lo tanto, los experimentos descritos a continuación investigaron si diferentes polaridades de corriente (aplicada externamente) resultarían en las mismas diferencias en velocidad de respuesta, como las que se encuentran después de la adquisición de auto-regulación cortical por medio de la biorretroalimentación. Los experimentos con animales y con seres humanos demostraron que los campos eléctricos aplicados externamente pueden inducir polaridades dentro de los niveles corticales superiores (comparables a los PCL registrados), que incluyen aspectos comportamentales (como la estimación del tiempo, y el aprendizaje; véase a Gavalas y cols., 1970).

Sujetos. En cada experimento se trabajó con 12 sujetos voluntarios que eran estudiantes varones.

Método. Cada ensayo consistió en un tono de 1.200 Hz (65 dB), de 6 segundos de duración, seguido de un ruido blanco de 90 dB. Los sujetos tenían que detener el ruido presionando un microswitch. Durante el tono de 6 segundos se aplicó una corriente de 0.25 mA (por encima $1\text{mV}/100/\Omega$ de la resistencia del campo), de polaridad positiva o negativa, al electrodo del vertex, en un orden aleatorio. Los lóbulos de los oídos sirvieron como referencia en el experimento I, mientras que en el experimento II se utilizó una referencia no cefálica. La intensidad de corriente estuvo por debajo del umbral de la sensación. El experimento I consistió en 88 ensayos, 44 con corriente positiva (VPOS) y 44 con corriente negativa (VNEG); el experimento II consistió en 160 ensayos, los primeros 80 programados y analizados para que fueran una replicación del experimento I.

Resultados del Experimento I. Los resultados indican que existen latencias de respuesta menores en las condiciones de voltaje positivo (VPOS) que en las de voltaje negativo (VNEG). La diferencia pro-

BIRBAUMER

medio fue de 5.2 rb 2.2 milisegundos ($t = 2.4$, $p < 0.05$, $T = 10$, $p = 0.02$, con base en la prueba no parametrica de Wilcoxon). Las diferencias en las latencias de respuesta se relacionaron con la latencia promedio de 226 ± 18 mseg. ($r = 0.6$, $p < 0.05$).

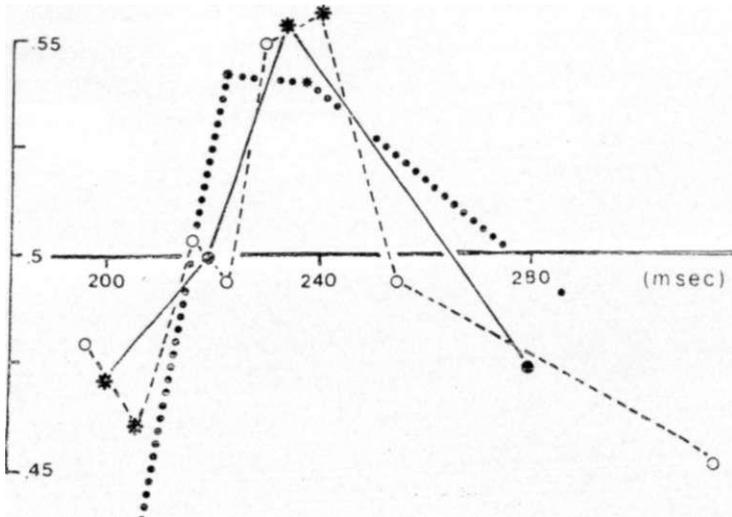


Figura 11. Grupos de sujetos asignados de acuerdo a sus latencias de respuesta ordenadas en rangos, para cuatro grupos de igual tamaño (abscisa). El número de ensayos de VNEG o de VPOS asignado al grupo particular, se indica en la ordenada.

* Rango de grupos que contienen significativamente cantidades diferentes de ensayos de VNEG y de VPOS.

O No significativo.

Resultados del Experimento II. Una diferencia significativa de promedio de latencias de respuesta entre las dos condiciones de corriente eléctrica, se obtuvo solamente en la segunda serie de 40 ensayos (o sea en los ensayos 41 a 80), con 4.2 mseg. ($p < 0.05$). Este resultado, algo diferente en comparación con el experimento I, se explica por la distribución que se presenta en la Figura 11 (los sujetos se agruparon según sus latencias de respuesta ordenadas en rangos, en 4 grupos de igual tamaño, y el número de VNEG o los ensayos de VPOS se asignaron al grupo en particular). Esta distribución muestra que hay significativamente más ensayos de VPOS en los grupos que incluían las latencias de respuesta más cortas. Esta relación se invierte en el grupo 3; en el grupo 4, incluyendo los

POTENCIALES CORTICALES

ensayos con las respuestas más lentas, existe también una inversión no significativa. Analizando juntos los datos de ambos experimentos (calculando los promedios en los primeros 80 ensayos), la diferenciación es significativa y alcanza a ser $p < 0.01$ en la segunda serie (ensayos 41 a 80), con una diferencia de 6.8 ± 2.9 mseg.

Discusión. Los resultados de ambos experimentos muestran que corrientes eléctricas de bajo nivel pueden influir en el comportamiento en una tarea de tiempo de reacción, aunque se apliquen externamente dichas corrientes. A primera vista parece ser sorprendente que una corriente VPOS produzca efectos comportamentales comparables con los cambios negativos auto-inducidos del Vertex. Sin embargo aplicar un electrodo positivo al eráneo induce una depolarización en la corteza y los niveles superiores se vuelven negativos. Los resultados de nuestros experimentos están de acuerdo con los resultados obtenidos por Stamm y Rosen (1972), quienes aplicaron polarización anódica de superficie a la corteza prefrontal de monos; se observaron mayores tasas de adquisición en una tarea de respuesta demorada bajo la polarización anódica. El efecto de facilitación de la polarización externamente inducida fue comparable al aprendizaje, si los ensayos se iniciaron a partir de una polarización cortical que ocurriera naturalmente (v. g. Stamm y Gillespie, 1979; Sandrew y cols., 1977). Puede argüirse que las corrientes aplicadas externamente inducen polarización eléctrica que pueda actuar de manera comparable a las generadas por el cerebro. Es preciso llevar a cabo más investigaciones para poner a prueba esta hipótesis.

La investigación con PCL ofrece importantes posibilidades a la modificación psicológica de los sustratos neurales del comportamiento. Estamos planeando experimentos para probar la aplicación de los PCL y de las corrientes D.C. externas a la atención selectiva y a la ansiedad (respuestas de evitación), con el fin de responder algunas preguntas clínicas. Si la biorretroalimentación de los PCL va a tener utilidad terapéutica, es algo que solo se puede responder con futuras investigaciones clínicas muy bien controladas.

REFERENCIAS

- Birbaumer, N. *Die Anwendung psychophysiologischer Methoden in der Verhaltensmodifikation*. En Ch. Kraiker (Ed.), *Handbuch der Verhaltenstherapie*. München: Kindler, 1974.
- Birbaumer, N.: *Physiologische Psychologie*. Berlin: Springer, 1975.
- Birbaumer, N., y Kimmel, H. D. (Eds.), *Biofeedback and Self-Regulation*. Hillsdale: Erlbaum, 1979.
- Birbaumer, N., Elbert, T., Lutzenberger, W., y Rockstroh, B. *Biofeedback of slow cortical potentials: Effects on signal detection and reaction time*. *Proceedings of the Biofeedback Society of America*, 1979. (Trabajo presentado al 10th Meeting of the BSA, San Diego, 1979).

- Birbaumer, N., y Tunner, W. EEG, evozierte Potentiale und Desensibilisierung. *Archiv für Psychologie*, 1971, 123, 225-234.
- Brener, J. Heart rate. En P. H., Venables, e I. Martin (Eds.), *A manual of psychophysiological methods*. Amsterdam: North-Holland, 1967.
- Chapman, L., Chapman, J., Ranlin, M., y Edell, W. Schizotypy and thought disorders as a high risk approach to schizophrenia. En G. Serban (Ed.), *Cognitive defects in the development of mental illness*, Nueva York: Brunner Mazel, 1976.
- Dongier, M., Dubrovsky, B., y Engelsmann, F. Event-related slow potentials in psychiatry. En C. Shagass, S. Gershon, y A. Friedhoff, (Eds.), *Psychopathology and brain dysfunction*. Nueva York: Raven Press, 1977.
- Dworkin, B., Filewich, R. J., Miller, N. E., Craigmyle, N., y Pickering, T. G. Baroreceptor activation reduces reactivity to noxious stimulation: Implications for hypertension. *Science*, 1979.
- Elbert, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., y Rockstroh, B. Biofeedback of slow cortical potentials: Self-regulation of central autonomic patterns. En N. Birbaumer, y H. D. Kimme] (Eds.), *Biofeedback and self-regulation*. Hillsdale: Erlbaum, 1979.
- Elbert, T., Rockstroh, B., Lutzenberger, W., y Birbaumer, N. Biofeedback of slow cortical potentials - Part I. *Electroencefalography and Clinical Neurophysiology*, 1980, 48, 293-301.
- Engel, B. T. Biofeedback in the treatment of cardiovascular disorders: A critical review. En J. Beatly, y H. Legewie, (Eds.), *Biofeedback and behavior*. Nueva York: Plenum, 1977.
- Frankel, B. L., Patel, D. J., Horwitz, D., Friedwald, W. T., y Gaarder, K. R. Treatment of hypertension with biofeedback and relaxation techniques. *Psychosomatic Medicine*, 1978, 40, 276-293.
- Gatchel, R., y Lang, P. Accuracy of psychophysical judgement and physiological response amplitude. *Journal of Experimental Psychology*, 1973, 98, 175-183.
- Gavalas, R., Walter, D., Haratr, J., y Adey, W. Effect of low-level, low-frequency electrical fields on EEG and behavior in Macaca Nemestrina. *Brain Research*, 1970, 18.
- Genest, J., Koiv. W., y Küchel, O. (Eds.), *Hypertension*. Nueva York: McGraw Hill, 1977.
- Gribbin, B., Steptoe, A., y Sleight, P. Pulse wave velocity as a measure of blood pressure change. *Psychophysiology*, 1976, 15, 86-80.
- Grings, W. W., y Dawson, M. E. *Emotions and bodily responses*. Nueva York: Academic Press, 1978.
- Hager, E., y Surwit, R. S. Hypertension self-control with a portable feedback unit or meditation relaxation. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1978, 3, 269-276.
- Hassett, J. A *Primer of psychophysiology*. San Francisco: Freeman 1978.
- Kornhuber, H. H., y Deecke, L. (Eds.), *5th International Symposium on Electrical Potentials Related to Motivation, Motor and Sensory Processes in the Brain. Preliminary Papers*. Ulm 1979.
- Kristt, D. A., y Engel, B. T. Learned control of blood pressure in patients with high blood pressure. *Circulation*, 1975, 51, 370-378.
- Lacey, J I., y Lacey, B. C. Some autonomic-central nervous system interrelationships. En P. Black, (Ed.), *Physiological correlates of emotion*. Nueva York: Academic Press, 1970

- Lang, P. J. The application of psychophysiological in psychotherapy and behavior modification. En A. E. Bergin, y S. L. Garfield, (Eds.), *Handbook of psychotherapy and behavior change*. Nueva York: Wiley, 1971.
- Lang, P. J. Learned control of human rate heart in a Computer directed environment. En P. A., Obrist, A. H. Black, J. Bnener, y L. V. DiCara, (Eds.), *Cardiovascular psychophysiology*. Chicago: Aldine, 1974.
- Lang, P. j. Troyer, W. G. Twentyman, C. T., y Gatchel, R. J. Differential effect of heart rate modification training on College students, older males, and patients with ischemic heart disease. *Psychosomatic Mediane*, 1975, 37, 429-446.
- Lang, P. j. Emotional imagery: Theory and experiment on instructed somato-visceral control. En N. Birbaumer, y H. D. Kimmel, (Eds.), *Biofeedback and self-regulation*. Hillsdale: Erlbaum, 1979.
- Levenson, R. W. Cardiac-respiratory-somatic relationships and feedback effects in a multiple Session heart rate control experiment. *Psychophysiology*, 1979, 16, 367-373.
- Lutzenberger, W., Birbaumer, N., y Steinmetz, P. Simultaneous biofeedback of heart rate and frontal EMG as a pretraining for the control of EEG theta activity. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1976, 1, 395-410.
- Lutzenberger, W., Elbelt, T., Rockstroh, B., y Birbaumer, N. The effects of self-regulation of slow cortical potentials on Performance in a Signal detection task. *International Journal of Neuroscience*, 1979, 9, 175-183.
- Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Elbert, T., Roqkstroh, B., Bippus, W., y Breidt, R. Self-Regulation of slow cortical potentials in normal subjects and in patients, with frontal lobe lesions. En H. H. Kornhuber, y L. Deecke. *Motivation, motor and sensory processes of the brain: Electrical potentials, behavior and Ciinical use*. Amsterdam: Elsevier, 1980.
- Patel, C. H. Biofeedback-aided reiaxation and meditation in the management of hypertension. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1977, 2, 1-41.
- Rachman, S. *Fear and courage*. San Francisco: Freeman, 1978.
- Reeves, J. L., Shapiro, D., y Cobb, L. F. Relative influences of heart rate biofeedback and instructional set in the pereception of cold pressure pain. En N. Birbaumer, y H. D. Kimmel, (Eds.), *Biofeedback and self-regulation*. Hillsdale: Erlbaum, 1979.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Lutzenberger, W., y Birbaumer, N. Slow cortical potentials under conditions of uncontrollability. *Psychophysiology*, 1979, 16, 374-380.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Ltitzenberger, W., y Birbaumer, N. Slow cortical potentials on response speed. En H. H. Kornhuber y L. Deecke, (Eds.), *Motivation, motor, and sensory processes of the brain: Electrical potentials, behavior, and ciinical usc*. Amsterdam: Elsevier, 1980.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Lutzenberger, YV., y Birbaumer, N. The effects of slow cortical potentials on response speed. *Psychophysiology*, 1982, 19, 211-217.
- Sandrew, B., Stamm, J., y Rosen, S. Steady potential shifts and facilitated learning of delayed response in monkeys. *Experimental Neurology*, 1977. 55.
- Schandry, R., Lutzenberger, W., y Birbaumer, N. Die phasische Reaktion der Herzrate und deren Habituation auf Töne verschiedener Intensität. *Psychotische Beiträge*, 1977, 19, 256-280.

BIRBAUMER

- Schneiderman, N., Dauth, G. W., y Van Dercar, D. H. Electrocardiogram: Technique and analysis. En R. F. Thompson, y M. M. Patterson, (Eds.), *Biometric recording techniques*. Part C. Vol. III, Londres: Academic Press, 1974.
- Shapiro, D., Mainardy, J. A., y Sunvit, R. S. Biofeedback and self-regulation in essential hypertension. En G. E. Schvartz, y J. Beatty, (Eds.), *Biofeedback: Theory and research*. Nueva York: Academic Press, 1977.
- Stamm, J., Gillespie, O., y Sandrew, B. Events contingent upon cortical potentials can lead to rapid learning. En D. Otto, (Ed.), *Interdisciplinary perspectives in event-related brain potentials*. Washington: U. S. Government Printing Office 1979.
- Stamm J., y Rosen, S. Cortical steady potential shifts and anodal polarization during delayed response Performance. *Acta Neurobiologica Experimentalis*, 1972, 32.
- Tursky, B., Shapiro, D., y Schwanz, G. E. Automated constant cuff pressure System to measure average systolic and diastolic pressure in man. *Transactions on Biomedical Engineering*, 1972, 19, 271-275.
- Walter, W. G. The contingent negative Variation. An electrical sign of significance of association in the human brain. *Science*, 1964, 146, 434.
- Weiner, H. *Psychobiology and human disease*. Amsterdam: Elsevier, 1977.
- Weller, C. *Psychotherapie psychosomatischer Störungen*. Tesis inedita Universidad de Tübingen, Departamento de Psiovogia Clfnica y Fisiológica, 1979.
- Wildgruber, Ch. *Biofeedback und Angstbewältigung*. Frankfurt-Bern-Las Vegas: Peter Lang Verlag, 1979.
- Williamson, D. A., y Blanchard, E. B. Heart rate and blood pressure biofeedback: A review of the recent experimental literature. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1979, 4, 1-51.