

# Propuesta de un sistema de registro a distancia de la frecuencia cardiorrespiratoria en aves

Leybón Ibarra J.,\*  
Contreras Hernández E.,\*\*  
Arch Tirado E.,\*  
Alfaro Rodríguez A.\*

\* Instituto Nacional de Rehabilitación,  
Unidad Profesional Interdisciplinaria  
de Ingeniería y Tecnología Avanzada  
del IPN.

Correspondencia:  
Jaime Leybón Ibarra  
jaleybon@hotmail.com

Artículo recibido: 24/noviembre/2006  
Artículo aceptado: 16/junio/2008

## RESUMEN

La manipulación de las aves para registrar su frecuencia cardiorrespiratoria se dificulta desde el proceso de captura hasta su inmovilización con el propósito de colocarles los instrumentos que dan lectura de las variables fisiológicas referidas, lo que puede llegar a inducirles la muerte por estrés. El diseño y construcción de instrumentos de medición de variables fisiológicas a distancia es fundamental para el control de su salud y su uso en investigación. En el presente trabajo se describe el diseño y aplicación de un sistema no invasivo propuesto para el registro del ritmo cardiorrespiratorio en aves pequeñas empleando luz infrarroja bajo el principio de la pulsioximetría, aprovechando el comportamiento del animal y el arreglo de la jaula para que se postre espontáneamente sobre el sensor sin implicar estímulos adicionales que alteren su estado y conducta. Mantener a las aves en un ambiente aislado permite controlar el ruido luminoso ambiental al que es sensible esta técnica, y el ruido sonoro que perturba la tranquilidad de las aves, teniendo registros cuyos patrones dependen de la obstrucción del emisor de luz o del sensor si el ave acerca o coloca una pata o su vientre sobre ellos, propios de su actividad rutinaria y aumentando la calidad del registro. Los resultados obtenidos de acuerdo a la colocación del ave en el emisor y el sensor muestran la captura de tres patrones de señal: ritmo cardíaco, ritmo respiratorio y ritmo cardíaco modulado por el ritmo respiratorio. Es necesario, como en el caso de la electroencefalografía, tener una vigilancia constante durante la prueba para distinguir artefactos de movimiento como se presentan durante el canto o acicalamiento.

**Palabras clave:** Frecuencia cardiorrespiratoria, aves pequeñas, luz infrarroja, pulsioximetría.

## ABSTRACT

Avians manipulation for cardio-respiratory rhythm recording is complicated because of the stress induced since the animal is captured until it is immobilized to attach the measurement instruments to him, and this process could be finalized in death. The development of instruments to register remote physiology signals is important for animal care and research applications. It is described the development and application of a pulsioximetry based electronic system to record the cardio-respiratory rhythm in small avians by using transcutaneous infrared light sensor taking advantage of the animal behavior and the cage arrangement to make the avi-

an stand over the sensor spontaneously avoiding the behave and conduct disturb for added stimulus. A light and noise isolated area was designated to improve the pulsioximetry technical disadvantages and to diminish avian disturbing, getting quality records according to the daylight routine activity while the avian placement varies if the feet or stomach are next or over the photoelectric devices. Results according to the avian placement respective to the photoelectric devices show three different signal patterns: heart rate, respiratory rhythm and the heart rate modulated by the respiratory rhythm. It is important to take into account as is considered in electroencephalographic tests the constant vigilance during the recording to set tags for the movement artifacts like smarten up and during the bird song.

**Key Words:** Cardio-respiratory rhythm, Small avians, Infrared light, Pulsioximetry.

## INTRODUCCIÓN

El registro de la frecuencia cardiopulmonar es una medición que se utiliza frecuentemente en la investigación básica, principalmente en el uso y producción de modelos biomédicos<sup>1</sup>.

Las aves tienen frecuencia cardíaca entre 150 a 350 pulsaciones por minuto, lo que las hace vulnerables a la manipulación, ya que suelen presentar paro cardíaco por aumento de la frecuencia cardíaca debido al estrés, haciéndose esto más crítico si son sometidas a diferentes procedimientos científicos<sup>2</sup> como aquellos que basan sus experimentos en la fisiología cardiopulmonar de las aves, ya que esta especie presenta una oxidación acelerada, debido al gasto energético que utilizan para el vuelo<sup>3-5</sup>.

Las técnicas utilizadas para medir la frecuencia cardíaca y respiratoria en aves son la pulsioximetría, el Doppler y el estetoscopio, principalmente en especies con un peso menor a 100 g<sup>6,7</sup>; sin embargo, por la forma de diseño de los instrumentos, estas técnicas exigen la manipulación directa del ave sujetándola o anestesiándola, lo cual al mismo tiempo obliga a tener un control de la frecuencia respiratoria para que en ningún caso se provoque la muerte por anestesia<sup>8</sup>.

El perico australiano es un ave que tiene muchas ventajas a considerar para diferentes investigaciones, de las cuales se pueden citar su audición por encima de otras aves canoras; pueden aprender, clasificar y recordar por varios meses después un gran número de llamados de contacto<sup>9-12</sup>. Estas habilidades, a su vez, pueden tomarse como referencia para pruebas de plasticidad cerebral en las

que se genera un daño cerebral y se analiza el comportamiento del ave en la recuperación funcional. En estos casos, es fundamental la medición a distancia del ritmo cardiopulmonar, sin intervenir en su espacio, con la finalidad de evitar el estrés o la modificación de su conducta, lo que daría un sesgo considerable en este tipo de estudios.

El principio de funcionamiento de la pulsioximetría puede ser aplicado en las aves para el caso específico donde sólo interesa registrar el pulso y no el nivel de oxígeno, considerando que cuentan con un sistema circulatorio parecido al de los mamíferos y que su sangre se compara a la nuestra porque contiene células rojas (eritrocitos) y células blancas (leucocitos); aunque en específico las células rojas también llevan el oxígeno a todo el organismo y retiran el dióxido de carbono<sup>13</sup>. La pulsioximetría en seres humanos presenta dos maneras de registrar la modulación de la luz debida al paso de la sangre: por la absorción de la luz que cruza perpendicularmente la punta del dedo o por la luz reflejada en la superficie de la piel (Figura 1).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para el estudio se utilizaron 10 pericos australianos (*Melopsittacus undulatus*) alojados en jaulas especiales para aves de ornato, 51 x 29 x 33 cm con variables ambientales controladas y alimentados con alimento especial para aves y agua *ad libitum*.

Con la finalidad de generar un instrumento no invasivo desapercibido por el ave, lo que básicamente prohíbe incorporar en su cuerpo sensores o disposi-

tivos electrónicos que impliquen el acondicionamiento conductual para no tener sesgos en las mediciones, se utilizó un fototransistor NPN (ECG3034A) que responde a luz visible e infrarrojo colocado en una base de madera diseñada para que el ave en forma espontánea se coloque sobre él, permitiendo que el vientre o una pata quede ocupando el área de captación (Figura 2). Para facilitar esta labor, la jaula tiene varillas verticales y no horizontales como se recomienda para el cuidado de estas aves.

Un diodo emisor de luz infrarroja (ECG3017) limitado a 15 mA fue colocado para aumentar la respuesta del sensor y para continuar los registros en horario nocturno (Figura 3).

El circuito amplificador del ritmo cardiotorrespiratorio se compone de una etapa preamplificadora con transistores polarizados con realimentación de colector, teniendo en cuenta que debido al efecto Miller (el voltaje de colector cambia por los cambios en la base; es decir, activar los voltajes en ambos extremos de un capacitor simultáneamente

te modificará su capacitancia efectiva<sup>14</sup>) los transistores pueden conmutar corrientes mucho más rápido que voltajes, lo que se traduce en mayor velocidad y ancho de banda.

La siguiente etapa es un amplificador de transimpedancia<sup>15,16</sup> característico en circuitos que reciben una señal de corriente para convertirla a voltaje útil; en este caso, para la detección del ritmo cardiotorrespiratorio al aprovechar las ventajas técnicas como tener una ganancia y ancho de banda independientes, siendo este último establecido por la resistencia de retroalimentación (Figura 4).

La señal de salida del amplificador de transimpedancia se dirige a un circuito convertidor analógico-digital (CAD) basado en el integrado PIC16F877, que permite dirigir la señal a través del puerto paralelo de una computadora personal. Para almacenar las señales de entrada se desarrolló un programa en C++ para controlar la frecuencia de

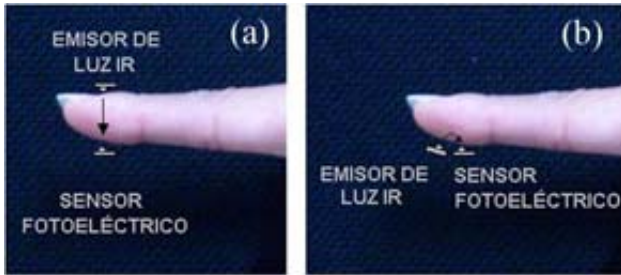


Figura 1. Principio de funcionamiento de la pulsioximetría: a) por absorción de la luz y, b) por la luz reflejada en la superficie de la piel.

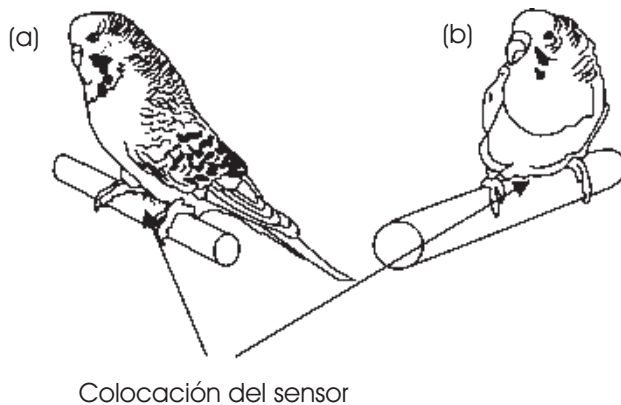


Figura 2. (a) Colocación espontánea del ave sobre el sensor fotoeléctrico y (b) descansando sobre el sensor cubierto por sus plumas ventrales.

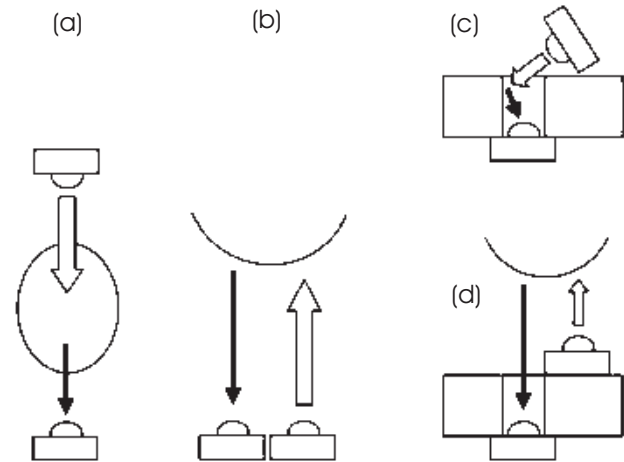


Figura 3. Posiciones del emisor de luz: (a) apuntando al fototransistor por encima del ave, (b) a un lado del sensor apuntando hacia arriba, (c) hacia el sensor en el extremo contrario de un orificio de la base y (d) hacia arriba a un lado del orificio del sensor.

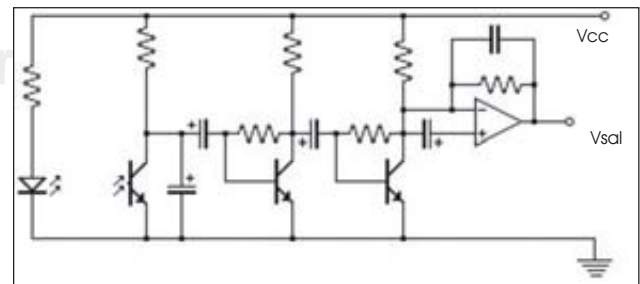
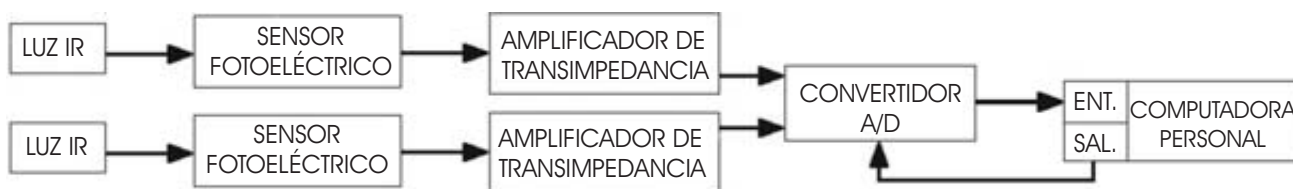


Figura 4. Diagrama esquemático de la etapa amplificadora del ritmo cardiotorrespiratorio.



**Figura 5.** Diagrama a bloques del sistema de captura del ritmo cardiorrespiratorio.

muestreo del circuito convertidor y escoger 1 ó 2 canales de entrada para registrar a dos aves simultáneamente, cada una en su respectivo sensor fotoeléctrico (Figura 5).

El archivo que se genera contiene el ritmo cardiorrespiratorio en código ASCII permitiendo su despliegue gráfico y/o análisis en programas que aceptan este tipo de archivos como lo son el EXCEL y el MATLAB. El programa permite controlar la frecuencia de muestreo y los canales de entrada, almacenando en archivos diferentes la señal de cada sensor. El procedimiento experimental se efectuó en un ambiente aislado de ruido así como de sus congéneres (Laboratorio de Bioacústica). Se registraron dos aves de sexo diferente en una jaula para evitar rivalidades de jerarquías entre sexos iguales; así mismo, los animales se encontraban junto a su pareja habitual (de lo contrario, el macho permanece la mayor parte del tiempo en la vara de descanso, y la hembra en el piso, o en los alambres de la jaula). Se preparó una vara de descanso en forma de T invertida que evita el contacto entre las aves mientras se registran, disminuyendo el ruido por movimiento. Por la delicadeza de esta especie, se mantiene el techo y la parte trasera de la jaula cubierta con una franela que también ayuda a restringir la dirección de la luz ambiental, la cual se mantiene en un nivel de penumbra apagando la luz de la habitación de registro y beneficiando la detección de la luz IR del emisor. Durante el registro la única restricción fue retirar los alimentos, y no se aplicaron estímulos de ninguna índole (Figura 6).

## RESULTADOS

La Figura 7 muestra un registro obtenido de un perico australiano macho adulto y sano con el vientre sobre el sensor fotoeléctrico recibiendo la luz IR a 15 cm por encima de su espalda (Figura 3a), manejando una frecuencia de muestreo de 20 Hz y obteniendo 240-545 latidos por minuto, 46-60 respi-



**Figura 6.** Jaula de registro preparada con vara de descanso y exclusión de alimentos.

raciones por minuto y graficado en Microsoft Office Excel 2003.

En la Figura 8, el sensor fotoeléctrico y la luz IR se colocan en la vara de descanso de la jaula alineados y próximos entre sí (Figura 3b), para quedar por debajo del ave que coloca una pata sobre el sensor. La frecuencia de muestreo es de 50Hz, el ritmo cardiaco es de 240-250 latidos/minuto y el ritmo respiratorio es de 90-100 resp/min. El cambio de señal se debe a un movimiento en la posición del ave al pasar de sueño a estado de alerta. La Figura 8b muestra una ampliación del mismo registro.

En la posición de la Figura 3c, con una pata del ave cubriendo el orificio y con el vientre sobre ambos dispositivos, los registros presentaron más ruido y menor amplitud.

La siguiente figura muestra la posición 3d con registros menos ruidosos que la configuración anterior.

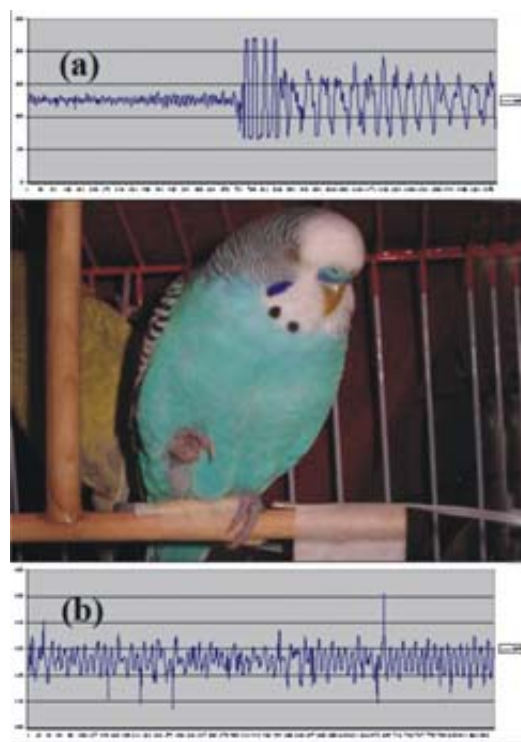
## DISCUSIÓN

Se han diseñado y construido métodos para medir constantes fisiológicas en los seres vivos, resultan-





**Figura 7.** Registro de un perico australiano con la luz IR por encima de su espalda, **(a)** el sensor fotoeléctrico bajo su vientre y **(b)** una pata sobre el sensor.



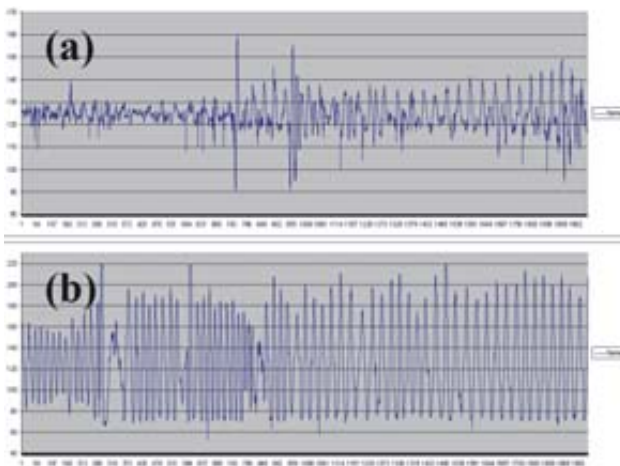
**Figura 8.** Dispositivos alineados **(a)** Primer segmento capturando sólo el ritmo cardiaco; segunda parte con el ritmo cardiaco sobre el respiratorio; **(b)** Ampliación del primer segmento.

do en algunas ocasiones de alto costo debido a la especialización del sistema, como la utilización de radares para monitorizar pacientes a distancia<sup>17</sup>, sensores fotorreceptores que detectan la humedad y la evaporación de las exhalaciones de la boca y nariz<sup>18</sup>.

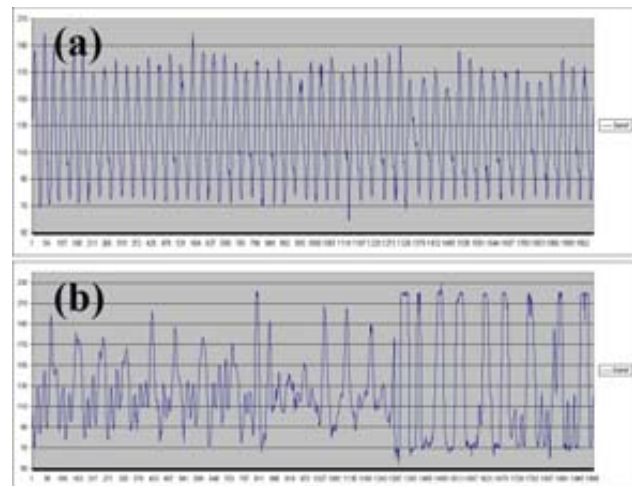
La finalidad de este instrumento es tener un sistema de medición confiable y de bajo costo con el cual se puedan efectuar registros cardiorrespiratorios en aves de ornato; se han realizado mediciones por láser en ratas nadadoras, las cuales traían una antena en la espalda durante pruebas de nado<sup>19</sup>, una de las ventajas del instrumento de medición propuesto es la nula invasión al animal y de esta forma se obtienen mediciones más fidedignas.

## CONCLUSIONES

El sistema de registro cumple con el propósito de brindar el valor del ritmo cardiorrespiratorio del perico australiano, además de la percepción de la forma de las ondas. En su totalidad suele ser sensible a cualquier tipo de movimiento de las



**Figura 9.** Registros con la posición 3c (a) con una pata obstruyendo el sensor y (b) con el vientre en ambos dispositivos.



**Figura 10.** Posición 3d registrando (a) el ritmo respiratorio y (b) el ritmo cardiaco en el respiratorio.

aves, de ahí que pueda registrar el pequeño movimiento torácico de respiración además del cardiaco; sin embargo, también percibe movimientos del pecho durante el canto, acicalamiento, etc. o de personas en la cercanía de la jaula, por lo que se debe tener cuidado con el medio circundante. En su actividad matutina, estas aves efectúan un proceso de limpieza en el que sus movimientos suelen ser repetitivos, induciendo en el sensor una señal con cierta frecuencia constante que puede confundirse con la señal de respiración. El análisis en el comportamiento de estas aves en cautiverio está marcando la pauta para complementar el programa con elementos adicionales como lo es la superposición de etiquetas durante el registro para la distinción de eventos y postura del animal, así como del video digital, tal como se hace en los registros de EEG donde la interpretación del trazo depende de la constante vigilancia del paciente durante la grabación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arch E, Saltijeral J, Zarco I, Poblano A. El uso y producción de modelos animales en la investigación científica biomédica. *Anim Exp Mex* 1996; 1: 10-12.
2. Scheid P, Piiper J. Respiratory mechanics and air flow in birds. In: King AS, McLelland J. eds. *Form and function in birds*. Vol 4. London: Academic Press. 1989; 369-391.
3. Wang N, Banzett B, Nations S, Jenkins A. An aerodynamic valve in the avian primary bronchus. *J Exp Zool* 1992; 262(4): 441-445.
4. Vance A, Toker. Respiratory physiology of house sparrows in relation to high-altitude flight. *J Exp Biol* 1968; 48: 55-66.
5. Turner L, Butler J. The aerobic capacity of locomotory muscles in the tufted duck, *Aythya fuligula*. *J Exp Biol* 1988; 135: 445-460.
6. Kittleson M. Case studies in small animal cardiovascular medicine. [www.vmeth.ucdavis.edu/cardio/cases](http://www.vmeth.ucdavis.edu/cardio/cases). 2005.
7. Fernández E, Polanco G, Rocó A. La temperatura rectal y la frecuencia respiratoria en pollos de engorde. *Fisiología - Revista Cubana de Ciencia Avícola*. 1985; 12 (1): 79-83.
8. Gleen D, Ludders W. *Recent advances in veterinary anesthesia and analgesia: Companion animals*. Publisher: International Veterinary Information Service ([www.ivi.org](http://www.ivi.org)) USA 2003.
9. Nicolas G, Fraingneau C, Aubin T. Variation in the behavioral responses of budgerigars (*Melopsittacus undulatus*) to an alarm call in relation to sex and season. *Anais de Academia Brasileira de Ciencias* 2004; 76(2): 359-364.
10. Dooling R, Ryals B, Dentr M, Reid T. Perception of complex sound in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*) with temporary hearing loss. *J Acoust Soc Am* 2006; 119(4): 2524-2532.
11. Dooling J, Brown D, Park J, Okanoya K. Natural perceptual categories for vol signals in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*) in comparative perception. *Complex signals*. 1990. Vol. II, edited by W. Stebbins M. A. Berkley USA.
12. Park J, Dooling J. Perception of species-specific contact calls by budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *J Comp Psychol* 1985; 99: 391-402.
13. Scheele W, Van Der Klis D, Kwakernaak C, Buys N, Decuyper E. Haematological characteristics predicting susceptibility for ascites. 2. High haematocrit values in juvenile chickens. *Br Poult Sci* 2003; 44(3): 484-489.

14. Silvestre D, Keutzer K, Rethinking dee-submicron circuit design, IEEE Computer Society «Computer» magazine, November 1999: 25.
15. Boylestad R, Nashelsky L, *Electrónica: Teoría de circuitos*, 4ta Ed. Prentice Hall. México. 1989.
16. Rashid M. *Circuitos microelectrónicos: análisis y diseño*. Internacional Thomsom Editores. México. 2000.
17. Michahelles F, Wicki R, Schiele B. Less contact: Heart-rate detection without even touching the user. Eighth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISW 04) 2004: 4-7.
18. Pettersson H, Stenow E, Cai H, Öberg A. Optical aspects of a fiber-optic sensor for respiratory rate monitoring. *Medical & biological engineering & computing* 1996; 34(6): 448-452.
19. Kramer K et al. The use of telemetry to record electrocardiogram and heart rate in freely swimming rats. *Methods and findings in experimental and clinical pharmacology*. 1995; 17(2): 107-112.