

Electrocardiografía del corazón de la ballena

Jorge Reynolds

¿Qué es una ballena?

La historia de las ballenas es casi tan antigua como la historia del mundo. Algunas especies cuya aparición fue anterior a la de los dinosaurios en el mesozoico, siguen aún cruzando los mares a pesar de la caza cruel y todavía tolerada por algunas naciones que dicen llamarse civilizadas.

Las ballenas se dividen en dos subórdenes: misticetos o verdaderas ballenas y odontocetos o ballenas dentadas. Entre los misticetos se destaca la ballena azul *Balaenoptera musculus*, la cual es el animal de mayor tamaño que existe y ha existido sobre el planeta. Según algunos autores puede llegar a medir hasta 33 metros de largo y pesar

algo más de 200 toneladas. Su corazón pesa alrededor de dos toneladas y cabría de pie una persona en uno de sus ventrículos. Se calcula que en cada contracción bombea 1.000 litros de sangre.

Descripción de la ballena jorobada

La ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* pertenece al suborden de los misticetos o verdaderas ballenas debido a que no tiene dientes. En su lugar presenta barbas córneas que penden de la mandíbula superior y utiliza en forma de filtro para capturar pequeños organismos acuáticos con los cuales se alimenta. Sus barbas o ballenas son características, poseen entre 270 y 400 láminas que miden 65 cm de longitud cada una y son de color gris oscuro o café olivado. El rasgo más

Jorge Reynolds: Ingeniero electrónico, Santafé de Bogotá.

típico es quizás el tamaño de sus aletas pectorales, las cuales miden una tercera parte de su longitud total. Su cuerpo es alargado, la cabeza aplanada en la parte superior y en la garganta presentan 12 a 24 pliegues de coloración blanca. El color del cuerpo es negruzco; las aletas pectorales son blancas en su parte inferior y moteadas de blanco y negro en la superior. En la aleta caudal se aprecian patrones individuales de coloración blanca, que las hacen reconocibles cuando levantan la cola. Las hembras son más grandes que los machos; el promedio de longitud es para las hembras de 15.2 metros y para el macho de 14.5 metros; el peso oscila entre 40 y 50 toneladas. Cuando salen a respirar exhalan una columna de agua de tres a cinco metros de altura. Han desarrollado adaptaciones fisiológicas muy interesantes que les permiten sumergirse sin riesgo, durante largos períodos. Ahorran gran cantidad de oxígeno, no sólo en los pulmones, sino por medios químicos en forma de oxihemoglobina en la sangre, mioglobina en los músculos, como solución, en los líquidos orgánicos y el agua de los tejidos. La sangre es muy rica en hemoglobina. Se alimentan principalmente de un pequeño crustáceo llamado krill, que se encuentra en grandes cantidades en el Polo Sur. Pueden engullir cerca de 100 kilos de alimento cada vez. La gestación dura entre 11 y 12 meses. Las crías al nacer miden 4.5 metros y pesan 1.300 kilos. Los ballenatos se alimentan de leche materna durante un año aproximadamente. La leche tiene 50% de grasa, alto porcentaje si es comparada con la leche humana que sólo tiene 3% y no contiene azúcar. Las tetadas son breves pero frecuentes; debido a los fuertes músculos mamatorios lanzan chorros de leche que reducen enormemente el esfuerzo del ballenato a la hora de mamar.

Los saltos de la ballena jorobada son muy típicos. Sacan casi todo el cuerpo del agua a pesar de su gran tamaño. Existen dos tipos de saltos, el llamado verdadero, que consiste en saltar dando un giro en el aire para caer de espaldas y el llamado belly flop o "barrigazo", en el que cae sobre el vientre. Las ballenas jorobadas producen los más largos y variados sonidos en el mundo animal. Varían desde silbidos de alta frecuencia

hasta resonantes ruidos sordos de baja frecuencia. Si una grabación del canto de este animal se aumentará 14 veces su velocidad, se oiría como el trino de los pájaros. Según algunas teorías, los componentes de baja frecuencia de los cantos, se transmitían por los canales profundos del océano pudiendo recorrer increíbles distancias, lo cual hoy no es factible a causa de la polución sonora de los mares. Aparentemente sólo los machos cantan y se cree que es parte del ritual del cortejo sexual.

ANTECEDENTES

En el año 1948, el Dr. Paul D. White reportó por primera vez en la historia la toma de un electrocardiograma (ECG), a una ballena beluga *Delphinapterus leucas*, en Clarks Point, Bahía de Bristol en el Mar de Behring. Con este estudio deseaba establecer una comparación entre el sistema de conducción aurículo ventricular (a-v) de los mamíferos más grandes y el de los más pequeños. Comenzó con mamíferos terrestres como el caballo y el elefante para luego seguir con la ballena beluga, la más pequeña de las ballenas, con el propósito de tomarles un ECG a las de mayor tamaño. Lamentablemente no siguió con la investigación.

Este trabajo motivó al grupo a proseguir con la investigación del Dr. White, ya que se contaba con elementos más modernos y sofisticados como la telemetría y la microelectrónica. Esto permitiría obtener mejores resultados y para tal fin se realizaron cuatro expediciones a la Isla Gorgona, en la costa del Pacífico colombiano. El objetivo del grupo era conocer cómo son los corazones de los diferentes animales marinos y acuáticos teniendo en cuenta lo poco que se ha estudiado, principalmente el corazón de las grandes ballenas. En el año 1984 en el Acuario El Rodadero, Santa Marta, se comenzó con el registro electrocardiográfico en delfines comunes, tiburón, pez morena y cofre, pulpo, etc. y a una oreo y un manatí en el Seaquarium de Miami en el mismo año. En la Isla San Andrés, Colombia, en 1986 se encontró una ballena picuda (especie sin determinar) varada cerca a la costa. Se le extrajo el corazón y en nuestro laboratorio de Bogotá, se le realizó un

estudio macroscópico. En octubre de 1987 se realizó una expedición a la Patagonia, en Punta Norte, Península Valdés, Argentina, con el propósito de estudiar las ballenas francas australes *Eubalaena australis*, en un campamento con otros grupos de diversos países, que en forma cooperativa trabajaron en diferentes áreas de investigación. Nuestro grupo llevó un robot acuático, SPYI, construido y diseñado en nuestro laboratorio, el cual lleva encima una minicámara de video y un sistema de micrófonos de alta sensibilidad para grabar los sonidos de las ballenas y observar su comportamiento. También se tomaron ECG a cuatro elefantes marinos del sur *Mirounga leonina*. A unas ballenas piloto *Globicephala macrorhynchus*, varadas en la Florida y rescatadas para su recuperación, se les tomó un ECG en el Dolphin Research Center en el año 1987 y en el Seaquarium de Miami en 1991. Se aprovechó esta oportunidad para volver a registrar un ECG a la misma orca que se le había tomado en el año 1984 y a dos manatíes en cautiverio.

METODOLOGÍA Y EQUIPO

Se realizaron cuatro expediciones a la Isla Gorgona para llevar a cabo nuestra investigación. Esta isla es un Parque Nacional de 49.200 hectáreas, que incluye las islas Gorgona, Gorgonilla y el sector circundante. Está localizada al oeste del litoral del departamento del Cauca, en el Océano Pacífico.

En 1984, el capitán Francisco Ospina Navia al realizar una expedición que denominó Costa a Costa, observó que en los alrededores de la Isla Gorgona había gran cantidad de ballenas jorobadas *Megaptera novaeangliae*, procedentes de las aguas frías del Polo Sur a las tibias del trópico, específicamente al Océano Pacífico, para aparearse y tener sus crías. La primera expedición a la Isla Gorgona se realizó en septiembre de 1984. Para tal fin se diseñaron y construyeron en nuestro laboratorio de Bogotá, los dardos de radio frecuencia (RF). Este dardo posee un dipolo en la punta, el cual al entrar en contacto con la dermis del cetáceo, recoge la actividad eléctrica cardíaca. La señal es llevada a un sistema integrado de

amplificación que la envía a un transmisor de frecuencia modulada (FM) a unos 500 MW. Una fuente de poder con varias baterías de mercurio alimenta los diferentes circuitos. Todos estos componentes quedan encapsulados e impermeabilizados en silicona, dentro de un tubo de aluminio de 30 cm de largo por 1.8 cm de diámetro. Para activar el sistema se deja un relevo magnético activado que se interrumpe colocando un imán externo. Al quitarlo, cierra el contacto y da paso al fluido eléctrico. El dardo fue disparado con una ballesta deportiva Barnett con un empuje de 175 libras iniciales. La ballesta no produjo daños a los componentes electrónicos de los dardos y tampoco causó molestias a la ballena. Se registraron ocho complejos electrocardiográficos con una frecuencia cardíaca promedio de ocho contracciones por minuto (cpm). En dicho trazado no se pudo evidenciar con claridad si existe o no onda P.

La segunda expedición a la Isla Gorgona se realizó en septiembre de 1985. Se tomó un ECG con un dardo similar al utilizado en la expedición anterior. En otra ballena se utilizó un dardo de tres canales de transmisión simultánea de tres eventos diferentes. Se tomaron el ECG, el fonocardiograma (FCG) y por el otro canal a través de un sensor de profundidad, se conoció a cuántos metros se encontraba la ballena. Finalmente estos tres fenómenos grabados en cinta magnética se descodificaron y separaron cada una de las señales para su interpretación. Tampoco se observó la evidencia de onda P. Con el sensor de profundidad se comprobó que al sumergirse la ballena a una profundidad de buceo de más o menos 80 metros, la frecuencia cardíaca disminuía a la mitad. Cabe anotar que los registros se hicieron utilizando un sistema de telemetría encontrándose las ballenas en completa libertad.

La tercera expedición a la Isla Gorgona se llevó a cabo en septiembre de 1990. Se usaron dardos de RF, similares a los utilizados en las expediciones anteriores. El sistema de telemetría fue adecuado y la velocidad y fuerza de los dardos que hicieron blanco en las ballenas también. El segundo dardo dio en el blanco de una ballena de 45 a 55 tonela-

das de peso y quedó colocado a cuatro o cinco metros del pedúnculo caudal, en el costado derecho. La ballena mostró gran actividad agitando la cola y las aletas pectorales, golpeando fuertemente el agua y con la zona ventral hacia arriba. La recepción del ECG fue clara, registrándose 197 complejos QRS, en tomas consecutivas con un promedio de 25 complejos continuos.

La cuarta expedición se llevó a cabo en septiembre de 1991 con la presencia del señor presidente de la República Dr. César Gaviria Trujillo.

RESULTADOS

Estos estudios se han presentado en varios congresos nacionales e internacionales y se realizaron 15 videos de los trabajos efectuados por el grupo. Es llamativo ver cómo estos trabajos poco a poco han ido interesando a investigadores no sólo en Colombia sino en el exterior. En 1989, el Dr. Frits L. Meijler, en Holanda, realizó un taller de trabajo sobre electrocardiografía comparada, para estudiar con especialistas de diversas disciplinas y nacionalidades la conducción a-v en relación al tamaño y forma de los corazones de los animales. Se sugirió que Colombia realizara la tercera expedición con el fin de obtener un ECG que diera mayor información. En Bogotá, el 26 de

enero de 1991, se realizó el simposio: Electrocardiografía en Corazón de Ballena, para analizar los 197 complejos cardíacos registrados durante la tercera expedición a la Isla Gorgona. En dicho simposio participaron 23 cardiólogos de las instituciones hospitalarias más importantes de Bogotá y fue patrocinado por academias, sociedades, universidades e institutos de investigación nacionales e internacionales. Los participantes se dividieron en cuatro grupos para analizar a fondo cada uno de los complejos del ECG obtenido. Luego de largos análisis llegaron a la conclusión de que no se observa onda P. lo cual no implica que ésta no exista.

El 6 de agosto de 1991, en Buenos Aires, Argentina, en el Aula Magna del Hospital Fernández, se realizó el simposio "Electrocardiografía del corazón más grande del mundo". En este simposio se hizo una reseña histórica de la electrocardiografía comparada y una conferencia sobre las adaptaciones cardiorrespiratorias al buceo de cetáceos. El Dr. Rodolfo Llinás, profesor de neurociencias y director del departamento de fisiología y biofísica de la Universidad de New York, basado en el registro del ECG de la ballena, planteó la hipótesis que la estructura del tejido del haz de His es diferente al del corazón humano para poder realizar una conducción eléctrica a mayor velocidad.
