

TALLER DE ELECTROCARDIOGRAFIA - III

ELECTROCARDIOGRAFIA EN LA CLINICA DEL PERRO Y EL GATO; Aproximación a la técnica diagnóstica, Cómo hacer un electrocardiograma, Electrogénesis y derivaciones.

Dr. Enrique Ynaraja Ramírez
Servicios Veterinarios Albéitar
Vall d'Uixó
Castellón – ESPAÑA
eynaraja@cardiovet.es

Un electrocardiograma (ECG) es la representación gráfica de la función eléctrica del corazón, recogida a través de electrodos cutáneos que captan las diferencias de potencial que se producen en el corazón y que se transmiten a través de los diferentes tejidos y de la piel, potenciales eléctricos que se crean de forma automática y rítmica en un tejido específico y especializado cardiaco. La gráfica que representa estas diferencias de potencial (“electricidad”) entre dos puntos concretos de la superficie exterior del perro, es el trazado electrocardiográfico que vamos a estudiar a lo largo de este manual.

Es importante destacar siempre que mediante un ECG NO conseguiremos obtener todos los datos que serán necesarios para conocer el funcionamiento real del corazón en un paciente determinado en un momento específico. Tampoco podremos asegurar cual es el estado de inotropismo; de capacidad contráctil de la musculatura cardiaca, ni si la función mecánica que está realizando el corazón es adecuada o no lo es. Tampoco podremos obtener datos definitivos y absolutos sobre la estructura anatómica del corazón y no obtendremos prácticamente ningún dato directo ni indirecto sobre los vasos sanguíneos, la función respiratoria o ventilatoria, el estado pulmonar o del pericardio o cualquier otro aspecto de todos aquellos que guardan una relación muy estrecha con la eficacia del corazón a la hora de cumplir con sus misiones de bombeo de sangre a través de las arterias y retirada de la misma a partir de las vías venosas.

Una vez vistas algunas de las muchas limitaciones de la técnica diagnóstica y de exploración, también es necesario destacar que mediante un ECG correctamente realizado podremos obtener datos muy valiosos, aunque incompletos e indirectos, sobre la función mecánica, la estructura anatómica y algunas alteraciones de oxigenación del propio miocardio y será, desde luego, la única prueba que nos permita obtener datos fiables y completos del funcionamiento eléctrico cardiaco que es un aspecto, al fin y al cabo, que resulta vital a la hora de estudiar su funcionalidad y eficacia.

EXPLORACION CARDIOLOGICA Y PRUEBAS COMPLEMENTARIAS

Es muy recomendable recordar siempre que una exploración cardiológica debe ser completa, ordenada y sistemática. Puede ser sencilla e incluso relativamente rápida, pero nunca debe ser apresurada o incompleta y no debe permitir que nos encaminemos a un diagnóstico escasamente respaldado por datos objetivos.

Toda exploración cardiológica debe incluir siempre una cuidadosa **exploración física completa** y correctamente realizada, la recogida de la **historia clínica** y la **anamnesis** del paciente, sus **antecedentes** y cualquier dato sobre **tratamientos** previos o actuales haciendo referencia a los medicamentos, tiempo de tratamiento, intervalo de dosis, duración del tratamiento y respuesta al mismo.

En una exploración cardiaca correcta se debe incluir un **estudio radiológico** torácico (siempre que sea posible en dos proyecciones perpendiculares o incluso en 3 si hubiera una sospecha razonable de neoplasias o lesiones nodulares) y en ocasiones y dependiendo siempre de la disponibilidad de medios técnicos y la aceptación de los presupuestos correspondientes por parte de los propietarios, la realización de un estudio **ecocardiográfico**, ocasionalmente incluiremos en muchos casos los estudios **angiográficos** específicos en casos de sospechas de anomalías congénitas y si no hubiera una opción para la ecocardiografía, las tomas de **presión sanguínea** periférica y los **análisis de sangre** y de **orina** cuando resulte pertinente.

Es tan cierto que no todos los casos clínicos se pueden manejar de forma correcta con tan solo un ECG y una radiografía de tórax, como que tampoco todos los casos exigen de forma ineludible realizar un estudio ecocardiográfico con un equipo dotado de sistema Doppler color, software específico de cardiología veterinaria y debe, además, acompañarse de una enorme batería de pruebas analíticas que incluyan, además de la hematología y bioquímicas habituales, una completa lista de hormonas y marcadores de función cardiaca. Todo estudio cardiológico debe incluir un ECG, pero no es suficiente realizar un ECG para conseguir un estudio cardiológico completo.

La **exploración física** debe realizarse de forma cuidadosa y en todos los pacientes; la **inspección** nos permitirá estudiar la actitud del perro o del gato, su carácter y estado de alerta y atención, tipo de respiración y frecuencia de la misma y la posible existencia de acúmulos de líquidos en la cavidad abdominal (ascitis) o en los tejidos subcutáneos como pueda ser en la zona de los carpos, de los tarsos o en el tejido subcutáneo del abdomen. Debemos estudiar además, el color de las mucosas explorables y la presencia de sobrepeso o franca obesidad en el paciente. En el caso de los perros, las alteraciones cardiacas es más habitual que produzcan cuadros de ascitis cuando se deteriora la función cardiaca del ventrículo derecho y en el caso de los gatos es más habitual que se produzcan derrames pleurales. En ambas especies es poco habitual que aparezcan los edemas subcutáneos tan habituales en los équidos y en los seres humanos con problemas cardiacos graves. Cuando se deteriora la función cardiaca izquierda, en ambos casos es habitual que aparezcan cuadros de congestión pulmonar y de edema pulmonar cuando la situación se mantiene durante un tiempo suficiente.

Junto a la exploración física y realizándola muchas veces ambas al mismo tiempo, debemos incluir una **anamnesis** completa anotando de forma específica la presencia o ausencia de “ataques” o síndromes convulsivos o de síncope y “mareos”, la existencia de crisis de disnea o de tos o la existencia de esos síntomas de forma crónica y más o menos permanente o la aparición de los mismos en situaciones especiales; ante el estrés, por la noche, por la mañana, ante el ejercicio físico, frente a cambios bruscos de la temperatura o la humedad ambiental... siempre debemos indagar sobre la capacidad de resistencia al ejercicio físico y las modificaciones recientes en dicha resistencia, apetito y cambios recientes del apetito o los hábitos alimenticios, el tipo de

alimentación habitual, el grado e intensidad de la sed y el consumo diario aproximado de agua y los hábitos y número de micciones diarias del perro, siendo algo mucho más complicado de averiguar en el caso de los gatos.

La **palpación** cuidadosa nos permitirá comprobar los datos anteriores sobre el acúmulo de líquidos en determinadas zonas o cavidades; incluso algunos ruidos pleurales son detectables mediante la palpación cuidadosa de las paredes torácicas. Por supuesto que se detectan los soplos cardíacos de alto grado (grados 5 y 6) en la zona precordial, incluso antes de proceder a una auscultación cuidadosa. Podemos y debemos estudiar también el **tiempo de relleno capilar** (TRC) que en la mucosa oral no debe exceder de 1-2 segundos; para hacer esta sencilla prueba, levantamos el labio superior, presionamos la mucosa gingival en la zona localizada sobre el canino superior y medimos el tiempo que tarda la mucosa en volver a recuperar su color rosado después de retirar la presión que habrá dejado la zona de un color pálido, ese tiempo, aproximadamente debe ser de 1 segundo y si es superior, debemos tenerlo en cuenta y anotarlo en la ficha clínica del paciente.

Durante la palpación debemos estudiar las características del **pulso arterial** periférico; el pulso femoral debe ser FRISS; fuerte, regular, igual, simétrico y sincrónico y cualquier alteración debe reflejarse en la ficha clínica correspondiente.

La **percusión** resulta una técnica exploratoria sencilla, inocua, rápida pero que actualmente se presume aporta datos escasos y demasiado inespecíficos. Mediante la percusión podemos detectar la presencia de áreas de aumento de la densidad en los tejidos pulmonares, ya que en estas zonas los sonidos se transmiten de forma más eficaz que en aquellas bien ventiladas y con un alto contenido en aire; los ruidos respiratorios desaparecerán de las zonas no ventiladas; en lugar de alvéolos que se llenan y vacían de aire, hay una zona compacta sin movimiento de aire. Además los ruidos producidos en la propia técnica de percusión, serán mejor transmitidos a través de un tejido pulmonar más denso de lo normal y se escucharán con mucha facilidad en el hemotórax contrario al que se percute. En estas zonas lesionadas la percusión es mate, semejante a la que obtenemos si percutimos sobre la zona de proyección hepática aunque el origen del problema puede ser tanto una neoplasia como una zona de severa congestión, edema, neumonía, hemorragia...

También es posible detectar, mediante una combinación de **percusión-auscultación**, los acúmulos de gases (aire) o de fluidos (derrames) en el espacio pleural. En la zona pleural no se detectan los ruidos respiratorios normales cuando existe aire o cuando existe un derrame en la cavidad pleural. Si además de auscultar la zona, la percutimos comprobaremos que la percusión es timpánica (semejante a percutir sobre nuestra mejilla con la boca completamente llena de aire) cuando el contenido sea aire y que la percusión es mate (como hemos comentado, semejante al resultado de percutir la zona de proyección hepática) cuando el contenido sea algún fluido. En cualquier caso, en estos casos habrá que continuar la exploración con un estudio radiológico, si fuera posible uno ecográfico y la punción diagnóstica o el drenaje de estabilización, de la cavidad pleural, para poder completar el diagnóstico.

La **auscultación** cardíaca y pulmonar no nos permitirá por sí misma llegar a un diagnóstico definitivo, pero en la mayoría de las ocasiones en que nos enfrentamos a una lesión cardíaca, es posible detectar anomalías en el ritmo, la frecuencia cardíaca o

los ruidos cardiacos normales. Muchas veces encontraremos sonidos añadidos como soplos o *clicks* valvulares, roces pericárdicos, aparición de sonidos añadidos en los galopes cardiacos (aparición del sonido S₃ y/o el S₄) y toda una amplia gama de variaciones en la auscultación cuidadosa de los campos pulmonares, incluyendo una auscultación normal, que también podemos encontrar en algunos casos de enfermedades cardiacas.

Por desgracia la mayoría de los hallazgos auscultatorios son poco específicos y pueden responder a un número variable, en ocasiones relativamente amplio, de situaciones clínicas y condiciones patológicas. Aunque en muchos casos de soplos mitrales, pueden considerarse estos como un hallazgo muy sugerente del problema y casi definitivos, hay ocasiones en las que no podemos llegar a conclusiones definitivas sin el apoyo de todas las demás pruebas diagnósticas. La fibrilación auricular tiene unas características auscultatorias muy especiales y casi patognomónicas pero muchas arritmias, extrasístoles y taquicardias, aunque muestren una auscultación anormal, no pueden ser identificadas si no es mediante un ECG.

Para poder valorar correctamente la función mecánica del corazón, la función muscular de contraerse y relajarse para propulsar sangre a través de las arterias, tenemos algunas limitaciones de técnicas y de costes económicos; estos estudios de función mecánica técnicamente pueden hacerse mediante cálculos de gasto cardiaco y el uso de monitores invasivos complejos, costosos y cuyo uso no está libre de riesgo para el paciente, pero los riesgos no siempre justifican los beneficios que aporta la información para el manejo del paciente y muchas veces, estos equipos no están disponibles en las clínicas veterinarias.

Es interesante poder estudiar la **presión sanguínea** tanto central como periférica, los datos de **pulsioximetría**, valores de flujos mediante sistemas Doppler, también es de gran utilidad poder realizar estudios angiográficos selectivos con contrastes, toma de muestras de sangre de las diferentes cámaras cardiacas y estudio de sus valores de gasometría y presiones locales, además de recurrir a estudios ecográficos también con el uso de contrastes.

Incluso es posible realizar estudios de medicina nuclear que aportan datos muy impresionantes por su complejidad y exactitud y que permiten conocer de forma muy exacta el grado de oxigenación de cada zona del corazón, incluso durante una prueba de esfuerzo. En estas pruebas, se inyecta por vía intramuscular un contraste, por ejemplo, Tecnecio-99 y se realizan estudios gráficos mediante una gammacámara lo que permite detectar con asombrosa precisión cualquier zona del miocardio que esté recibiendo un riego deficiente.

El inconveniente de todas estas pruebas está en el coste económico del equipamiento necesario para el veterinario, el coste económico que cada prueba tiene para el propietario del paciente, el riesgo para el paciente durante la realización de algunas de estas pruebas y la complejidad de interpretación de muchos de los resultados que se obtienen.

Frente a las ventajas de objetividad y extensión de la información y frente a las limitaciones de ámbito económico y especialización que es necesaria para el uso de estas pruebas adicionales, debemos volver a la realidad clínica y recurrir a un ECG, una

cuidadosa exploración clínica, un estudio radiológico torácico y, en algunos casos, un estudio ecocardiográfico como pruebas de diagnóstico cardiológico en animales de compañía.

COMO REALIZAR CORRECTAMENTE UN ECG

Para realizar un ECG lo primero que necesitamos es un electrocardiógrafo, además de un paciente colaborador. En medicina veterinaria la mayoría de los equipos actualmente en uso son de un canal, es decir, utilizan un papel relativamente estrecho y solo dibuja “una línea” con subidas y bajadas.

Son equipos que disponen de cinco cables de colores; amarillo, rojo, verde, negro y blanco. Los cuatro primeros sirven para obtener las seis derivaciones habituales; las tres bipolares y las tres unipolares aumentadas de los miembros, es decir; las derivaciones I, II, III, aVR, aVL, aVF.

El electrodo blanco hay que cambiarlo de posición sucesivamente y sirve para obtener las derivaciones precordiales, que habitualmente no se obtienen en perros y gatos, dado lo escaso de los datos diagnósticos que aportan estas derivaciones en estas especies.

Algunos equipos cuentan con un juego de seis cables de diferentes colores que sustituyen al cable de color blanco y que sirven para obtener estas mismas derivaciones precordiales, pero sin necesidad de ir cambiando constantemente el cable de posición, simplemente se conectan los seis desde el principio y ya se pueden obtener todas las derivaciones precordiales sin más cambios. Complican el manejo de los cables; hay que colocar 10 cables en el tórax de un animal, facilitan la realización de las derivaciones precordiales; no hay que hacer cambios durante la realización del electrocardiograma, pero en cualquier caso, las derivaciones precordiales aportan una cantidad muy poco significativa de datos en los perros y gatos.

Los colores de los cables siguen un código internacional y deben colocarse de la siguiente manera; CABLE AMARILLO; mano izquierda, CABLE ROJO; mano derecha, CABLE NEGRO; pata derecha y CABLE VERDE; pata izquierda.

Hemos dicho que el cable BLANCO no es necesario colocarlo en los perros o gatos, aunque algunos equipos detectan si está o no en contacto con el paciente y si no es así, envían un mensaje de error y no funcionan correctamente. En este caso, puede colocarse el cable blanco en cualquier zona del paciente, sin que contacte con ninguno de los demás cables, se realiza el ECG normalmente y no se obtienen las derivaciones precordiales.

Para establecer y mantener un buen contacto entre cada uno de los electrodos y el paciente, se recurre a una serie de pinzas que pueden ser de uso médico, hasta de uso en electricidad con pequeñas modificaciones que las hacen poco traumáticas y perfectamente válidas para hacer ECG en perros y gatos.

Para mejorar la conductividad entre las pinzas y la piel del paciente, puede usarse un gel de electrocardiografía, gel de ultrasonidos, alcohol en espuma, etanol o solución salina saturada, el alcohol en espuma es la solución más eficaz, sencilla de

manejar y de eliminar al terminar la exploración y con un coste económico muy razonable. El etanol aplicado con un pulverizador, también es perfectamente válido.

La colocación de los electrodos debe ser en un pliegue cutáneo, tomando un pequeño pellizco que no resulte molesto y que no incluya pelos, además, deben evitarse heridas, cicatrices o lesiones cutáneas o subcutáneas (por ejemplo bursitis de codo y fibrosis de la zona). En la extremidad anterior debe elegirse una zona en su cara posterior, a la altura de la axila. En la extremidad posterior debe colocarse en la cara anterior de la extremidad, a la altura del pliegue de la babilla. La cara lateral del codo y el hueco poplíteo son alternativas perfectamente válidas.

El paciente debe estar en decúbito lateral derecho y relajado. Si esta postura es imposible, puede realizarse el estudio en decúbito esternal, con el animal sentado sobre los cuartos traseros o en la estación, pero en todas estas posiciones, la altura de las ondas puede sufrir ciertas modificaciones y no debe establecerse ningún diagnóstico basado en la altura de las ondas si el paciente no estaba en decúbito lateral derecho cuando se hizo el ECG. Siempre debe anotarse la posición del paciente sobre el papel del ECG para poder valorar este posteriormente.

Habitualmente no es necesario recurrir a ningún protocolo de control farmacológico de los pacientes; cualquier fármaco utilizado con fines de tranquilización, sedación, anestesia o cualquier tipo y nivel de control farmacológico de los pacientes modificará de forma notable el trazado electrocardiográfico. Es muy importante considerar que cualquier protocolo de control farmacológico, sea el que fuere, será capaz de modificar de forma sustancial el trazado electrocardiográfico del paciente y, que en la mayoría de las ocasiones, lo modificará de una forma no predecible y, por tanto, el ECG no se corresponderá con aquel que tendría el paciente en situación normal y conociendo el ECG “modificado” no podremos deducir cual era el ECG basal “normal”.

En algunas ocasiones puede resultar imprescindible, por cualquier razón, proceder con algún tipo de tranquilización o sedación en ese caso, la recomendación es utilizar una combinación de diazepam y butorfanol por vía IV, existiendo otras alternativas que, en términos generales, modifican de forma más profunda el trazado electrocardiográfico.

Para poder recoger todos los datos necesarios para su interpretación posterior, un ECG debe incluir, al menos, las tres derivaciones bipolares (I, II, III) y en cada una de ellas un número mínimo de 4-5 complejos o un mínimo de 3-4 segundos, además, debe recoger las tres derivaciones unipolares aumentadas de los miembros; aVR, aVL, aVF y en ellas deben estudiarse, al menos, 4-5 complejos o 3-4 segundos.

Finalmente se recoge un trazado un poco más prolongado de derivación II que debe tener una duración mínima de 5-6-8 segundos y debe permitir estudiar el ritmo y la frecuencia con facilidad.

Una recomendación general es hacer el ECG en velocidad de 25 mm/segundo y al final, obtener un trazado un poco más prolongado de derivación II en velocidad de 50 mm/segundo o hacerlo al revés; todo el ECG en 50 mm/segundo y, finalmente, un trazado de derivación II en 25 mm/segundo.

Como habitualmente la velocidad de 50 mm/segundo permite medir y calcular mejor los intervalos, segmentos y ondas y la velocidad de 25 mm/segundo permite un buen estudio del ritmo, obtener trazados en las dos velocidades puede ser muy útil a la hora de hacer la lectura e interpretación posteriores.

Algunos autores utilizan otras derivaciones electrocardiográficas como puedan ser las derivaciones de Dubois de la escuela francesa; estas derivaciones se basan en los ejes de Dubois y en derivaciones “espalda-ombigo” y otras similares. Aunque desde un punto de vista de estudio estrictamente geométrico-anatómico, esas otras derivaciones puedan ser más cercanas a los ejes longitudinales o transversales cardiacos en perros, es difícil que estas otras alternativas se adapten con la misma exactitud tanto a perros como a gatos, complican la obtención del trazado electrocardiográfico, no están recogidas en la mayoría de la literatura y es difícil hasta encontrar los valores normales o la interpretación de los anormales y frente a las teóricas ventajas por estudios de anatomía y de posición cardiaca, la realidad es que no han podido demostrar ninguna ventaja frente a la información obtenida mediante el estudio de las derivaciones habitualmente utilizadas hasta ahora.

ELECTROGÉNESIS, DERIVACIONES, ONDAS E INTERVALOS

Cuando tenemos el ECG en nuestras manos, antes de poder interpretarlo debemos conocer algunas características del mismo; ya hemos dicho que el trazado electrocardiográfico es la representación gráfica de las diferencias de potencial generadas por el corazón a lo largo del tiempo y recogidas sobre la superficie externa del paciente.

Es impracticable poder medir estas diferencias de potencial sobre el propio corazón porque exigiría la realización de una toracotomía, pero las diferencias de potencial se transmiten, no solo dentro del propio corazón a través del sistema intrínseco, sino que se transmiten atravesando los tejidos hasta la propia superficie cutánea, mediante el estudio “indirecto” entonces, de estos potenciales medidos a distancia, podemos obtener un ECG mediante un sistema no-invasivo colocando electrodos detectores en la superficie del cuerpo.

Los puntos de la superficie externa donde colocaremos los electrodos detectores, pueden inventarse cada vez, pueden estandarizarse en derivaciones y sistemas especiales como el que nombramos anteriormente de Dubois y, lo más rápido y sencillo, pueden utilizarse según un acuerdo internacional perfectamente identificable y que nos permite obtener ECG estandarizados e “intercambiables” entre distintos especialistas a la hora de compartir experiencias o buscar opiniones sobre cada caso clínico concreto.

Dentro de ese acuerdo internacional, algunas derivaciones tienen una escasa o nula importancia en la clínica diaria, por ejemplo, las derivaciones esofágicas están perfectamente estandarizadas pero exigen fijar un electrodo en una sonda esofágica e introducir esta por vía oral hasta situarla sobre la base cardiaca. Es evidente que esta prueba tiene muy poco interés en clínica salvo en estudios experimentales determinados o en monitorización de pacientes en quirófano.

Otras derivaciones como las ortogonales y las llamadas X, Y y Z o las modificaciones “espalda-ombigo” ya citadas, tienen también un interés muy relativo, complican la exploración y son poco utilizadas por la comunidad veterinaria internacional y además, hasta el momento, no parecen aportar ventajas sustanciales a la información obtenida mediante las derivaciones más clásicas.

DERIVACIONES PRECORDIALES

Son más complejas de realizar y en especial en el perro y el gato. Se trata de estudiar el corazón en un plano transversal que lo corta a la altura de la unión aurículo-ventricular, en la base cardíaca. Hay que colocar seis pinzas-electrodos añadidos a los cuatro habituales y hay que colocar estos nuevos seis en puntos concretos alrededor del toráx formando un “cinturón” que abraza la cavidad torácica a la altura aproximada de la 7ª vértebra cervical.

Ya hemos visto que algunos equipos disponen de un cable de color blanco, único, que sustituye a este juego de 6 cables adicionales y hay que detener el equipo electrocardiográfico, posicionar el electrodo blanco en la primera posición, obtener un trazado en el equipo, volver a detenerlo, cambiar la posición del electrodo, volver a obtener un trazado, volver a detener el equipo y efectuar de este modo los cambios correspondientes a las seis derivaciones precordiales.

Estas derivaciones precordiales permiten estudiar el corazón en un plano perpendicular al paño en el que se sitúan las derivaciones bipolares y unipolares aumentadas. Este estudio en dos planos perpendiculares, aporta una información adicional especialmente importante a la hora de estudiar posibles zonas de isquemia, infartos de miocardio y lesiones similares, incluso permite deducir la antigüedad de un posible infarto y su localización y extensión.

Dada la escasez de presentación de esta patología en el perro y el gato, la obtención de las derivaciones precordiales complica mucho la exploración electrocardiográfica y aporta una cantidad muy limitada de datos adicionales, de manera que de forma rutinaria y habitual, no se obtienen estas derivaciones y tan solo en casos muy especiales y concretos o en estudios experimentales, se recurre a su obtención, lectura e interpretación.

DERIVACIONES BIPOLARES

Cada derivación está formada por una pareja de electrodos exploradores; uno de ellos actúa como electrodo positivo y otro como electrodo negativo. La técnica de exploración es comprobar qué diferencia de potencial existe entre ambos electrodos en cada fracción de segundo, con ese dato marcar un punto en una gráfica y con la unión de los puntos sucesivos, obtener una línea continua que sea el trazado electrocardiográfico de ese paciente.

Estas derivaciones bipolares incluyen las derivaciones I, II y III. En todos los casos se colocan sobre el paciente 4 cables que funcionan como electrodos de detección. Cada cable ya sabemos que tiene un color diferente y debe colocarse en la posición estandarizada pertinente y el equipo de electrocardiografía, al posicionar el mando en la

derivación I, la II o la III, utiliza aquellos cables que necesita y considera positivo o negativo a cada cable según estas convenciones universales estandarizadas.

De los cuatro cables disponibles, dos de ellos debemos colocarlos en los miembros anteriores; en la cara posterior de la extremidad anterior a la altura del codo o un poco por encima del mismo. Los otros dos cables debemos colocarlos en las extremidades posteriores, en la cara anterior, a la altura del pliegue de la babilla. De estos dos cables de las extremidades posteriores; el de color verde y el de color negro, este último se utilizará siempre como electrodo neutro por parte del equipo y no formará parte de los ejes que se establecen en las derivaciones bipolares o las unipolares aumentadas.

DERIVACIONES UNIPOLARES AUMENTADAS DE LOS MIEMBROS

Son las tres derivaciones aVR, aVL y aVF, en las cuales en lugar de utilizar tan solo dos electrodos exploratorios; por ejemplo, en las derivaciones bipolares teníamos que el cable rojo, de la extremidad anterior derecha funcionaba como punto negativo y el cable verde de la extremidad posterior izquierda como electrodo positivo (en la derivación II), en este caso, utilizaremos tres electrodos y así, también por ejemplo, los cables amarillo y rojo de las extremidades anteriores funcionarán como electrodo negativo y el cable verde de la extremidad posterior izquierda, funcionará como electrodo positivo y obtendremos la derivación aVF.

Ya hemos visto que en todos los casos los electrodos están conectados al paciente desde el primer momento y en cada posición del mando del equipo electrocardiográfico, es el propio equipo quien selecciona qué electrodos están activos y cual o cuales son positivos y cual o cuales los considera negativos. El veterinario tan solo debe indicar la derivación deseada en el mando de control del equipo.

Los cables deben colocarse siempre en las posiciones estandarizadas: cable amarillo en la extremidad anterior izquierda, cable rojo en la extremidad anterior derecha, cable verde en la extremidad posterior izquierda y cable negro en la extremidad posterior derecha. Muchos equipos disponen de un cable blanco para la obtención de las derivaciones precordiales y no funcionan correctamente si el cable no se conecta al paciente. Aunque no vayamos a obtener las derivaciones precordiales, si nuestro equipo exige que el cable blanco esté conectado para funcionar correctamente, basta con ponerlo en cualquier posición en el perro, sin contactar con ninguno de los otros cuatro cables y podremos hacer el ECG sin que nuestro aparato detecte que hay un cable no conectado.

El electrodo negro de la extremidad posterior derecha funciona como electrodo neutro en todas las derivaciones y el equipo lo necesita como “punto de referencia”. Los demás electrodos funcionan como positivos, negativos o inactivos de forma alternativa en cada una de las derivaciones.

DERIVACION	ELECTRODO	POSICION	CONEXIÓN
I	Amarillo	Mano izquierda	polo negativo
	Rojo	Mano derecha	polo positivo
	Verde	Pata izquierda	inactivo

	Negro	Para derecha	neutro
II	Amarillo	Mano izquierda	neutro
	Rojo	Mano derecha	polo negativo
	Verde	Pata izquierda	polo positivo
	Negro	Para derecha	neutro
III	Amarillo	Mano izquierda	polo negativo
	Rojo	Mano derecha	inactivo
	Verde	Pata izquierda	polo positivo
	Negro	Para derecha	neutro
aVR	Amarillo	Mano izquierda	polo negativo
	Rojo	Mano derecha	polo positivo
	Verde	Pata izquierda	polo negativo
	Negro	Para derecha	neutro
aVL	Amarillo	Mano izquierda	polo positivo
	Rojo	Mano derecha	polo negativo
	Verde	Pata izquierda	polo negativo
	Negro	Para derecha	neutro
aVF	Amarillo	Mano izquierda	polo negativo
	Rojo	Mano derecha	polo negativo
	Verde	Pata izquierda	polo positivo
	Negro	Para derecha	neutro

En la derivación II y cuando hemos colocado correctamente los cables según las instrucciones anteriores, el electrocardiógrafo selecciona los cables según el siguiente esquema:

Amarillo	Mano izquierda	Neutro
Rojo	Mano derecha	Polo negativo
Verde	Pata izquierda	Polo positivo
Negro	Para derecha	Neutro

Para explicar cómo se genera un ECG utilizaremos como ejemplo la derivación II ya que el mismo razonamiento y el mismo esquema lógico se mantienen para las demás derivaciones y el proceso en todos los casos es paralelo.

DERIVACION II Y ELECTROGENESIS

De acuerdo con este esquema tenemos, en la derivación II, un eje que va desde la mano derecha hasta la pata izquierda, es un eje oblicuo cuyo extremo negativo está en la mano derecha (electrodo rojo) y cuyo extremo positivo está en la pata izquierda (electrodo verde).

Para poder establecer un sistema de coordenadas donde poder trazar la gráfica correspondiente a los vectores que vayamos estudiando, debemos trazar un eje perpendicular al de la derivación II.

En este sistema de ejes, cuando tengamos que indicar con un punto cual es la diferencia de potencial que hay entre el electrodo rojo (negativo) y el verde (positivo), marcaremos dicho punto en el mismo eje de la derivación II en caso de que la diferencia de potencial sea 0 y si existe una diferencia de potencial, la distancia del punto al eje de la derivación II marcará la diferencia de potencial (intensidad) y lo situaremos en el sector positivo o negativo según lo haya detectado así el equipo al considerar el electrodo rojo (negativo) y el verde (positivo).

Cuando exista una diferencia de potencial en el corazón, podremos representar esa diferencia de potencial mediante un vector; dicho vector tiene su origen en el punto donde se genera la diferencia de potencial, su extremo nos indica si en nuestro sistema de ejes debe considerarse negativo o positivo (el vector “apuntará” hacia nuestro electrodo positivo o negativo) y su longitud será proporcional a la intensidad de la diferencia de potencial que se haya generado. Cuando el vector “apunte” hacia el electrodo positivo de nuestro sistema, marcaremos un punto positivo en el gráfico con una altura proporcional a la intensidad, si el vector “apunta” hacia nuestro electrodo negativo, marcaremos el punto en la parte negativa de la gráfica.

Cuando existan varios vectores, que es lo habitual, podemos agrupar los vectores dos a dos y repitiendo la operación tantas veces como sea necesario, podemos acabar representando cada fase de la actividad eléctrica por un solo vector resultante final.

Si estudiamos la coordenada de la derivación II, en ella marcaremos el tiempo; cada fracción de segundo se estudiará la diferencia de potencial y esta se representará por un punto. La sucesión de puntos contiguos marca una línea continua y en ella podemos estudiar tanto la intensidad de la diferencia de potencial (altura o “profundidad” de la gráfica) como la duración de los estímulos eléctricos; anchura de las ondas e intervalos.

En el primer esquema representaremos un corazón de un paciente, inicialmente en reposo y dibujaremos el sistema de ejes a su lado para marcar las diferencias de potencial que se vayan generando.

Sobre el esquema del corazón dibujamos el eje de la derivación II; un eje que empieza (polo negativo) en la parte superior derecha (mano derecha) y acaba (polo positivo) en la parte inferior izquierda (pata izquierda), puntos en los cuales se sitúan los electrodos en la superficie cutánea del paciente.

Los vectores que “apunten” hacia el lado positivo de este eje serán representados como puntos de diferencia de potencial positiva (“hacia arriba”) y los vectores que “apunten” hacia el lado negativo del eje serán representados como puntos de diferencia de potencial negativa (“hacia abajo”).

FASES DE ACTIVACION ELECTRICA Y REPRESENTACION GRAFICA DE LAS MISMAS; cómo se dibuja un electrocardiograma

FASE 1: No hay ningún tipo de actividad eléctrica; estamos en el periodo de reposo previo a un ciclo cardiaco y todavía no se ha generado ningún estímulo eléctrico (estamos revisando las fases del ciclo cardiaco dividiéndolo en periodo de tiempo muy

cortos que nos permitan conocer qué está ocurriendo en cada fracción de segundo) (Figura 41).

En nuestro esquema debemos representar entonces un punto que marque “*diferencia de potencial entre electrodo rojo-negativo y electrodo verde-positivo = 0*”, ese punto debe estar sobre la misma línea del eje de la derivación II.

Cada fracción de tiempo en la cual no haya ningún tipo de actividad eléctrica marcará un punto similar, de manera que al unirlos todos quedará una línea continua recta sobre el eje de la derivación II cuya longitud será proporcional al periodo de tiempo durante el cual el corazón ha estado en reposo.

FASE 2: Aparece una primera actividad eléctrica: se activa el nódulo sinusal pero todavía no “sale” la diferencia de potencial de ese mismo nódulo sinusal, se genera un impulso eléctrico que todavía no afecta a ninguna zona del corazón fuera del nódulo sinusal y, por tanto, no detectaremos esa diferencia de potencial en la superficie exterior del paciente.

FASE 3: El impulso eléctrico que se ha generado en el nódulo sinusal (NSA) se transmite a las aurículas. En primer lugar se transmite a la aurícula derecha ya que es la zona más cercana a la localización del NSA.

Tenemos una gran cantidad de vectores que representan esta dispersión del estímulo eléctrico; la estimulación de toda la aurícula derecha a partir del NSA, todos esos vectores se pueden agrupar de dos en dos y finalmente tendríamos un solo vector resultante que representaría esa fase del ciclo cardíaco.

El vector resultante sería un vector que se origina en el NSA y que “apunta” hacia la aurícula derecha, es decir, “apunta” hacia el lado positivo de nuestro eje de la derivación II, de manera que consideraremos la diferencia de potencial como “positiva” y así dibujaremos la onda en nuestro eje de coordenadas.

La longitud de dicho vector es proporcional a la intensidad del impulso eléctrico; si la intensidad es muy elevada, la longitud sería muy grande y la onda quedaría muy “alta” en nuestra gráfica, si la intensidad es menor, la longitud sería también menor y la gráfica sería menos alta en nuestro eje, se dibujará una onda más pequeña.

FASE 4: El estímulo eléctrico está repartiéndose todavía por la aurícula derecha, pero afecta ahora, también a la aurícula izquierda, sencillamente está tardando más en llegar a ella porque se encuentra más alejada del NSA.

En este momento tendríamos una serie de vectores auriculares que, aunque tengan todavía un componente derecho, esencialmente serían los correspondientes a la aurícula izquierda. Los vectores son similares a los anteriores, el vector resultante también “apunta” hacia el lado positivo de nuestro eje y su duración dependerá del tamaño de la aurícula izquierda, es decir, del tiempo que tarde en llegar el estímulo eléctrico desde el NSA hasta dicha aurícula.

Componentes de la primera onda del electrocardiograma; onda P de actividad de las aurículas: como vemos en el gráfico, esta onda P está formada por dos

componentes; la onda P_1 y la onda P_2 que son las correspondientes a la activación de la aurícula derecha y la aurícula izquierda respectivamente.

En el perro y el gato, las aurículas están muy cercanas entre si y ambas ondas se superponen uniéndose en una sola onda; la primera parte de la onda es la correspondiente a la aurícula derecha y marcará la altura que consiga dicha onda. La segunda parte de la onda corresponde a la aurícula izquierda y será ésta quien marque la duración total de la onda P.

Cuando la aurícula derecha esté dilatada, el componente P_1 de la onda P será muy alto, en ese caso, toda la onda P será muy alta y es lo que se denomina onda P *pulmonale* porque habitualmente refleja una dilatación de la aurícula derecha y se suele producir cuando existen enfermedades pulmonares graves o cuando la válvula sigmoidea pulmonar sufra un proceso de estenosis.

Cuando la aurícula izquierda esté localizada “alejada” del NSA, el estímulo eléctrico necesitará más tiempo para llegar hasta ella, la onda P será más ancha ya que el componente P_2 de la onda P se produce con un cierto retraso.

Este efecto se presenta de forma fisiológica en équidos en los cuales la anatomía cardiaca es tal que las aurículas son de gran tamaño y están relativamente separadas y el NSA se encuentra a una distancia considerable de la aurícula izquierda.

En el caso de los perros, cuanto mayor es el tamaño de un perro, más ancha es la onda P, pero si se produce una dilatación de la aurícula izquierda, la onda P será más ancha de lo normal y se denomina onda P *mitrale*, nombre que se debe a que el proceso más frecuente por el cual se produce una dilatación de la aurícula izquierda es por lesión de la válvula aurículo-ventricular mitral.

FASE 5: Ahora, el impulso eléctrico ha llegado a las dos aurículas, ha producido su estímulo y “viaja” hacia los ventrículos a través del tramo internodal.

Antes de entrar en los ventrículos debe atravesar el nódulo aurículo-ventricular, un agrupamiento de células del sistema intrínseco cardiaco que regula el paso de estímulos eléctricos a los ventrículos para evitar un estímulo de estos demasiado cercano al estímulo inmediatamente anterior, además, si falla el nódulo sinusal, el nódulo aurículo-ventricular (NAV) es capaz de funcionar como marcapasos interno, al menos durante un cierto periodo de tiempo y con una frecuencia cardiaca de 60 lpm, para mantener unas condiciones mínimas de gasto cardiaco que conservan con vida al paciente con problemas en el nódulo sinusal.

El tramo internodal (TIN) está perfectamente aislado de manera que el estímulo eléctrico viaja a través de él sin estimular ninguna estructura a su paso y sin perder potencia en este periodo. El tejido circundante no recibe ningún estímulo eléctrico, es decir, no se detecta ninguna diferencia de potencial y, por tanto, en los electrodos colocados en las extremidades, tampoco se detecta ninguna diferencia de potencial. No existe ningún grupo de vectores ni hay un vector resultante que plasmar en la gráfica.

En la gráfica del ECG encontramos un tramo recto, de diferencia de potencial igual a 0 y cuya longitud es directamente proporcional al periodo de tiempo que tarda el

estímulo eléctrico en atravesar el TIN y en atravesar el NAV cuando finalmente se acerca a los ventrículos.

FASE 6: Una vez atravesado el NAV, el estímulo eléctrico llega al haz de His en los ventrículos y empieza a transmitirse a través de esta vía.

El haz de His se divide rápidamente en dos ramas; la rama derecha y la rama izquierda. Esta última, a su vez se divide en dos fascículos; en fascículo anterior y el fascículo posterior para poder alcanzar todas las zonas de la gran masa muscular del ventrículo izquierdo a la vez. Tanto la rama derecha como los fascículos anterior y posterior de la rama izquierda, finalizan dividiéndose en múltiples ramificaciones que constituyen las llamadas fibras de Purkinje que permiten esta difusión final del estímulo eléctrico a todas las zonas ventriculares prácticamente en el mismo instante.

Una vez que el estímulo eléctrico alcanza los ventrículos se difunde por la rama derecha y el septo interventricular de forma inmediata. El ventrículo derecho se estimula de forma más rápida que el ventrículo izquierdo y podemos representar esta fase “derecha-interventricular” por múltiples vectores, representados finalmente por un vector resultante que claramente apunta hacia el lado negativo del eje de la derivación II, esto marcará una onda de polaridad negativa, dibujada en el lado negativo del eje de diferencias de potencial. La gráfica se representará “hacia abajo” y la duración será proporcional al periodo de estímulo del septo interventricular y el ventrículo derecho.

FASE 7: Poco después, vemos que el impulso eléctrico se reparte por todo el ventrículo izquierdo. Existen algunos vectores que todavía afectan al ventrículo derecho, pero mayoritariamente debemos representar los que se reparten hacia el ventrículo izquierdo.

El resultado final es un conjunto de vectores de gran longitud y muy numerosos que se reúnen en un vector resultante final claramente positivo porque su extremo apunta hacia el lado positivo del eje de la derivación II y que tiene una gran longitud ya que está constituido por una diferencia de potencial muy importante, la necesaria para estimular todo el ventrículo izquierdo que es una gran masa muscular.

La gráfica alcanzará gran altura, proporcional a la intensidad del estímulo eléctrico y la longitud será proporcional al tiempo que tarda en producirse esta fase de activación del ventrículo izquierdo.

FASE 8: En este momento, el impulso eléctrico se transmite hacia la base cardiaca para alcanzar a todas las zonas ventriculares.

En un primer momento la sangre de la aurícula derecha se envía “hacia abajo”, la de la aurícula izquierda se envía también “hacia abajo” inmediatamente después, la del ventrículo derecho se envía hacia el septo interventricular, igual que la del ventrículo izquierdo poco después y, finalmente, hay que enviarla desde el apex cardiaco hacia la base de manera que la sangre salga por las arterias.

En esta fase los vectores son múltiples y de varias direcciones, pero de forma mayoritaria arrojan una componente final que tiene su extremo inicial (negativo) en el apex y su extremo final dirigido hacia la base cardiaca. Es un vector que “apunta” hacia

el lado negativo del eje en derivación II, es decir, tendremos una nueva fase negativa en la gráfica del ECG, una onda dibujada en el lado negativo del eje.

En algunas ocasiones, esta fase se produce de forma casi simultánea con el estímulo del ventrículo izquierdo, es decir, el gran vector positivo anterior se produce de forma simultánea con este vector negativo de menor intensidad. En este caso, tendremos un vector positivo final, de menor intensidad, que reflejará conjuntamente ambas actividades eléctricas, en estos casos encontraremos un trazado de ECG al que le “falta una onda” sencillamente porque dos ondas se han producido a la vez y se han dibujado de forma conjunta.

Según la conducción del estímulo eléctrico en los ventrículos y diferentes variaciones normales y anomalías anatómicas, podemos encontrar diferentes trazados del complejo QRS; algunas de estas variantes son aceptables como normales en perros o en gatos y otras se consideran anormales.

FASE 9: En este momento, desde un punto de vista anatómico, los ventrículos se están contrayendo, pero no hay una actividad eléctrica detectable. Los ventrículos necesitan un poco de tiempo para que la sangre fluya por las venas y se vacíen.

Los ventrículos están en sístole, con actividad muscular desencadenada por el impulso eléctrico, pero no se detecta ninguna actividad eléctrica adicional. En este momento tenemos un nuevo periodo de reposo eléctrico en el cual la gráfica del ECG vuelve a ser una recta en el nivel 0 de diferencia de potencial, la longitud de esa recta será proporcional al periodo de tiempo durante el cual no hay actividad eléctrica aunque se mantenga la actividad muscular.

FASE 10: Finalmente tenemos una serie de pequeños estímulos eléctricos que se generan en el endocardio y que se dirigen hacia el epicardio.

Estos estímulos múltiples formarán la última onda del ECG. Probablemente esta onda es la de menor interés clínico y la que aporta mayor complicación para fisiólogos y otros investigadores para explicarla. Esta onda es la de repolarización ventricular, muy sensible a casi cualquier cambio iónico, del equilibrio ácido-básico o de las concentraciones de oxígeno o CO₂ en sangre, pero del mismo modo que es muy sensible a los cambios por pequeños que sean, es muy inespecífica y cuando se producen esos cambios es difícil deducir cual ha sido la causa de los mismos, de ahí su escaso interés clínico.

En ocasiones esta onda es positiva en derivación II, en ocasiones negativa y es posible que sea bifásica tanto positiva-negativa como negativa-positiva.

Esta es la onda T de repolarización ventricular y tan solo buscaremos los casos en los cuales su diferencia de potencial excede el 25% de la diferencia de potencial de la onda respectiva del ventrículo izquierdo, además, una señal de alarma será también cuando se produzcan cambios de su polaridad de forma brusca y repentina; cuando pase de ser positiva a negativa y viceversa o cambios similares.

En la gráfica podemos ver que el vector resultante final, en este caso y solamente como ejemplo, se dirige hacia el lado positivo del eje en derivación II, dibujando por

tanto, una onda positiva, podría ser al revés y obtener un vector negativo final y en ambos casos, la onda final puede clasificarse como normal.

Siguiendo de forma escalonada los pasos anteriores y fase por fase, hemos dibujado un trazado electrocardiográfico normal en un perro o un gato, finalmente hemos obtenido un ciclo electrocardiográfico completo con todas las ondas, intervalos, segmentos y puntos habituales y normales.

Una vez que sabemos cual es el origen de cada punto y su significado, podemos estudiar sus medias normales, cuando dejan de ser normales y qué pueden indicar cuando son anormales. Debemos estudiar cada componente por separado para poder obtener toda la información disponible en el ECG y disponer de una serie de datos sólidos y objetivos para nuestro diagnóstico posterior, para ello, compararemos los valores de nuestro ECG-problema con los valores normales para perros o gatos de las tablas correspondientes, pero antes debemos saber las denominaciones de cada onda y sus inicios y finales, además de la forma de medir cada una de estas fases en un ECG.